



TERMÉSZETTUDOMÁNYI  
KÖNYVKIADÓ VÁLLALAT

MEGINDULT 1872-BEN



TERMÉSZETTUDOMÁNYI KÖNYVKIADÓ-VÁLLALAT  
A M. TUD. AKADÉMIA SEGÍTSÉGÉVEL  
KIADJA  
A KIR. MAGYAR TERMÉSZETTUDOMÁNYI TÁRSULAT

---

XC.

DR. SCHEINER J.,

# NÉPSZERŰ ASZTROFIZIKA

A XV. (1914—1916. ÉVI) CZIKLUS  
MÁSODIK KÖTETE  
A KÖNYVKIADÓ-VÁLLALAT ALÁÍRÓI SZÁMÁRA.

# NÉPSZERŰ ASZTROFIZIKA

IRTA:

DR. SCHEINER J.,

A BERLINI EGYETEMEN AZ ASZTROFIZIKA VOLT RENDKÍVÜLI TANÁRA,  
A POTSDAMI ASZTROFIZIKAI OBSZERVÁTORIUM FŐOBSZERVÁTORA.

FORDÍTOTTA:

DR. WODETZKY JÓZSEF,

EGYETEMI M. TANÁR.

AZ EREDETIVEL ÖSSZEHAONLÍTOTTA:

DR. KÖVESLIGETHY RADÓ,

EGYETEMI NY. R. TANÁR.

KÉTSZÁZTÍZ KÉPPEL ÉS TIZENHAT KÉPMELLÉKLETTEL.



BUDAPEST, 1916.

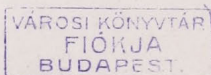
KIADJA A KIR. MAGYAR TERMÉSZETTUDOMÁNYI TÁRSULAT

162932

Az 1—531. oldalig fordította DR. WODETZKY JÓZSEF,  
egyetemi m. tanár; az 532—681. és a 745—830. oldalig  
fordította MENDE JENŐ, főgimnáziumi tanár; a 682—744.  
oldalig fordította DR. HOFFMANN ERNŐ, egyetemi tanársegéd.

EGYEDÜL JOGOSÍTOTT MAGYAR KIADÁS

76344





## ELŐSZÓ.

A »Népszerű Asztrofizika« lényegében ugyanazt tartalmazza, a mit a berlini egyetemen tartott előadásaimban bevezetésként a csillagászati szinképelemzésbe, fotométriába és fotografiába elmondtam. Előadásaimnak az volt a célja, hogy a csillagászat hallgatóival az asztrofizikai kutatás módszereit és eredményeit annyira megismertessem, hogy későbbi, mélyreható tanulmányaiknál az aprólékos részleteket is általános és egységes szempontból mérlegelhessék, a mint ez a tudomány minden terén szükséges.

Arra az elhatározásra, hogy előadásimat más elrendezésben és bővített alakban »Népszerű Asztrofizika« címen kiadjam, főleg az bírt rá, hogy a nagyközönség is mindinkább nagyobb érdeklődéssel kíséri a csillagászatnak ezt az ágát.

Az exakt tudományok között könnyen belátható okokból hosszú idők óta még mindig az asztronómia örvend a legáltalánosabb érdeklődésnek. E mellett szól az a számos, mindig újabb kiadásokban megjelenő népszerű csillagászat. De ezek a munkák oly óriási anyagot ölelnek fel, hogy a csillagászat legifjabb ága, az asztrofizika, nem részesül oly tárgyalásban, a milyen az utolsó évtizedekben éppen e téren elért haladások megértéséhez és méltatásához kívánatosnak látszik. E munkám kísérlet arra, hogy népszerű tudományos irodalmunk e hiányán segítsen, bár nem hallgathatom el aggodalmaimat, melyek az ilyen első kísérlettel járó különféle nehézségekben, továbbá a meglevő, rendkívül nagyterjedelmű anyagban lelik magyarázatukat.

Legnagyobb nehézséget a helyes mérték betartása okozta, mikor lemondtam arról, hogy szakembernek szóló »asztrofizikai kézikönyvet« írjak.

Népszerű asztrofizikámat a művelt nagyközönségnek szántam, nem pedig csillagásznak vagy asztrofizikusnak. Egyéni véleményem szerint válogattam a meglevő anyagból és bizonyára többször ellentétbe kerülök mások nézeteivel. Könyvem alapján számos értekezésben, három tankönyvben és egy népszerű könyvecskében (»Spektralanalyse der Gestirne«, »Photographie der



Gestirne«, Strahlung und Temperatur der Sonne», »Der Bau des Weltalls») közzétett asztrofizikai munkálataimnak és nézeteimnek ismertetése. Az asztrofotométriában sokszor támaszkodtam MÜLLER G. »Photometrie der Gestirne« című művére, különösen a fotométriái műszerek leírásánál.

Az olvasókra való tekintettel a matematikai tárgyalást lehetőleg kerültem. A hol nem kerülhettem el, ott körülbelül a gimnáziumot végzett tanuló ismereteit vettem alapul.)\* De természetesen föl kellett tételeznem a megértéshez szükséges csillagászati ismereteket, körülbelül oly mértékben, a milyenben ezt a közkézen forgó népszerű csillagászatok nyújtják.

A könyvhöz számos táblát és rajzot mellékeltem, mert a fotografiai sokszorosítás jelenlegi tökéletessége lehetővé tette annak az elvnek a megvalósítását, mely a közvetlen szemléletet fölébe helyezi a legbővebb leírásnak.

A táblákhoz szükséges fotografiák legnagyobb részét FROST tanár úr, a Yerkes-obszervatórium igazgatója, bocsátotta rendelkezésemre az ő szokott nyájasságával. A korrekturánál BIEHL tanár úr volt szíves becses segédkezésével támogatni. Mindkettőjüknek e helyen legyen szabad legmélyebb hálámat kifejeznem.

Külön elismeréssel kell adóznom a kiadóvállalatnak, mely költséget és fáradságot nem kimélve tett eleget a képekre és a könyv külső kiállítására vonatkozó kívánalmaimnak.

Potsdam, 1907. november havában.

*Scheiner J.*

## ELŐSZÓ A MÁSODIK KIADÁSHOZ.

Bár az elmúlt négy év alatt az asztrofizikai kutatás nagyot haladt, külső okokból a szövegen nem változtattam. A legfontosabb haladásokat a függelékben sorolom fel, különösen azokat, melyek általános természetű haladásra vezettek. Néhány szövegjavítást is a függelékben közlök.

Potsdam, 1911. november havában.

*Scheiner J.*

---

\*) Fordításunkban a matematikai képleteket egységes tárgyalásmód biztosítása céljából elhagytuk.

*Fordító.*

# TARTALOM.

<i>Bevezetés</i> .....	Oldal 1
------------------------	------------

## I. RÉSZ. AZ ASZTROFIZIKA MÓDSZEREI.

### I. SZAKASZ.

#### Fizikai és élettani alapok.

1. fejezet. A sugárzás tana .....	9
2. » A fénytán elemei .....	39
3. » A látás élettani alapjai .....	57

### II. SZAKASZ.

#### A színeképelemzés.

4. fejezet. A színeképelemző készülékek szerkezete .....	69
5. » A csillagászati spektroszkópok .....	97
6. » Az abszolút hullámhosszúságok meghatározása .....	121
7. » A színeképelemzés elmélete .....	132
8. » Az elemek színeképei .....	175

### III. SZAKASZ.

#### A fotométria.

9. fejezet. A fotométriai elméletek .....	207
10. » A fotométriai műszerek .....	234
11. » A színeképfotométerek .....	269
12. » A fény kioltása .....	277

### IV. SZAKASZ.

#### A Nap sugárzó hőjének mérése.

13. fejezet. A sugárzás megmérése .....	287
-----------------------------------------	-----

### V. SZAKASZ.

#### A csillagászati fotografia.

14. fejezet. A fotografiai technika és a fotografiai képek keletkezése ...	302
15. » A fotografiai műszerek optikai részei .....	321
16. » A fotografiai távcsövek. Mérőeszközök, Regisztráló módszerek	340
17. » A fotografiai fotométria .....	372



## II. RÉSZ. AZ ASZTROFIZIKAI KUTATÁSOK EREDMÉNYEI.

### VI. SZAKASZ.

#### A Nap.

	Oldal
18. fejezet. A Napon végbemenő jelenségek .....	394
19. » Elméletek a Napról .....	474
20. » A Nap hőmérséklete. Elektromágneses hatásai a Földre ...	532

### VII. SZAKASZ.

#### Bolygók, holdak, üstökösök, meteorok, állatövi fény.

21. fejezet. A bolygók és holdjaik.....	559
22. » Az üstökösök és meteorok. Állatövi fény .....	626

### VIII. SZAKASZ.

#### A ködfoltok.

23. fejezet. A ködfoltok .....	653
--------------------------------	-----

### IX. SZAKASZ.

#### Az állócsillagok.

24. fejezet. Spektroszkópi vizsgálatok .....	683
25. » Az új csillagok .....	745
26. » Elterő csillagszínképek .....	784
27. » Fotometriai eredmények az állócsillagokról .....	792
28. » A fotografiai eredményei az állócsillagok vizsgálatában .....	813
Pótlások .....	824
Tárgymutató .....	831
Táblák I—XVI.	

## A KÉPEK FORRÁSA.

A 210 szövegkép és XVI. tábla közül 57 szövegkép és 7 tábla más művekből van átvéve; a többi eredeti.

Az átvett képek a következő munkákból valók:

1. SCHEINER J.: *Die Spektralanalyse der Gestirne* cz. műből származik a 41., 42., 49., 55., 56., 57., 59., 73., 132., 134., 135., 150., 151., 176., 177. és 183. rajz.
2. SCHEINER J.: *Die Photographie der Gestirne + Atlas* cz. könyvből való a 110., 116., 117., 119., 123., 124., 125., 126., 171., 174. szövegrajz és az I., II., X., XIII. és XVI. tábla.
3. MÜLLER O.: *Die Photometrie der Gestirne* cz. könyvből vettük át a 81., 87., 91., 92., 93., 95., 96., 97., 98., 100. és 101. rajzot.
4. *Himmel und Erde* cz. folyóiratból merítettük a 138., 139., 140., 141., 142., 143., 144. és 145. rajzot.
5. *Zeitschrift für Instrumentenkunde* cz. folyóiratból másoltuk az 58., 108. és 109. rajzot
6. FRANZ J.: *Der Mond* cz. mű képei szerint készült a 166. rajz.
7. SCHEINER J.: *Bau des Weltalls* cz. könyvből ered a 182. rajz.
8. WÜLLNER F.: *Lehrbuch der Physik* cz. műből való a 2. rajz.
9. SECCHI-SCELLEN: *Die Sonne* cz. mű képei szerint készítettük a 46., 128., 131., 146., 147., 148. képet és a IV. és V. táblát.

## BEVEZETÉS.

Egészen a mult század elejéig a csillagászat általános jellegű tudomány volt, mert felölelte mindazokat a jelenségeket, a melyek légkörünkön túl és azon belül mennek végbe s a mellett a Földet is mint önálló égitestet belevonta kutatásai körébe. A XIX. század folyamán a természet megismerése nagymértékben fellendült s a részletismeretek rendkívül meggyarapodtak. Ezzel karöltve a csillagászat munkaterülete, különösen néhány speciális ágban annyira kiszélesedett, hogy végül lehetetlenné vált, hogy egy kutató az egészet áttekintse és minden ágában fejtsen ki tevékenységet; ma már BESSEL vagy GAUSS sem lennének erre képesek.

E fellendülés elmaradhatatlan következményeként a csillagászatnak amaz ágai, a melyek vele úgyis csak alaki összefüggésben állottak — amennyiben a csillagászatra mint alapra, vagy mint segédtudományra támaszkodtak —, tőle különváltak és önálló tudományágakká fejlődtek s ma már részben oly terjedelmet öltöttek, hogy azóta már további elszakadások következtek be és még újabbak várhatók.

Az önállóvá vált három speciális terület: a *geodézia*, a *meteorológia* és az *asztrofizika*. A geodézia, legtágabb értelemben véve, a Föld határfelületét és bolygónk dinamikai tulajdonságait tekinti munkaterének. Fokmérések és nehézségmérések segítségével kikutatja a Föld alakját és nagyságát, megállapítja azokat az eltéréseket és időbeli változásokat, a melyek szerint a Föld felületének szilárd és cseppfolyós részei igazodnak. A csillagászattal a legközvetlenebbül függ össze, mert feladatait csak a leggondo-



sabb csillagászati hely- és időmeghatározások felhasználásával oldhatja meg. A meteorológia a légkörünkben végbemenő tünetmények megállapításával és kutatásával foglalkozik, melyek, bár általában nagyon bonyolultak, lényegében mégis a Nap besugárzásától függnék; a csillagászzal a Földnek a Naphoz és bizonyos értelemben a Holdhoz való viszonya révén áll összefüggésben. A meteorológia a körébe tartozó földmágnesség és légköri elektromosság útján az asztrofizikával is közeli kapcsolatban van.

Az elszakadt tudományok legfiatalabbja az asztrofizika, bár első kezdete természetszerűen messzebb visszanyúlik a múltba. Tulajdonképpen kezdete a múlt század hatvanas éveinek elejére tehető, közvetlen folyományaként annak, hogy a színképelemzést KIRCHHOFF megalapozta. A milyen egyszerű az asztrofizika szó értelmét úgy magyarázni, hogy ez a fizikának és a chemiának az égitestekre való alkalmazásának tudománya, éppen oly nehéz a csillagászat és az asztrofizika között a határvonalat pontosan megállapítani, mert a két terület a legkülönbözőbb pontokon egymásba szövídik. Talán az lesz a leginkább célravezető, ha megkíséreljük a csillagászat területének határait kijelölni és azután asztrofizikának nevezzük mindazt, a mi e határokon kívül fekszik és nem tartozik a már említett elágazásokhoz. A csillagászat felöleli mindazt, a mi az égen való helymeghatározással, azaz a szögmérés-sel, annak az iránynak a meghatározásával összefügg, a melyben valamely csillag, vagy kiterjedtebb égitesteknél ennek valamely meghatározott pontja más meghatározott irányokhoz viszonyítva látszik. Ebből következik, hogy mozgó égitesteknél a csillagászat feladata a látszólagos pálya kitűzése az égen. Röviden összefoglalva, ez lenne a gyakorlati vagy gömbi csillagászat egész, nagyterjedelmű feladata, a szükséges megfigyelési eszközöket is beleértve. Az már az elméleti csillagászat feladata, hogy alapul véve a tömegvonzás törvényét, a megfigyelésekből kibogozza az égitestek valóságos pályáit a Naprendszerben és az állócsillagok rendszerében, vagyis hogy más szóval a nekünk hozzáférhető világegyetem mechanikai szerkezetét kifürkészsze. Minden további még hátralevő kutatás az égen az asztrofizika körébe tartozik. És mi az, a mi még hátra van? Ez az elméleti és gyakorlati fizika alkalmazása az égitestek megfigyelésére és

mibenlétük kikutatására; meg kell azonban említenem, hogy itt a fizikába mindig bele kell érteni a chemiát is, de a mechanikát ki kell zárni, jóllehet látni fogjuk, hogy ezt a határt gyakorlati szempontokból és a történelmi fejlődés alapján tágabbra kell szabnunk.

A világegyetemben végbemenő valamennyi folyamatról — egyetlen kivétellel — csupán a fény útján szerzünk tudomást. Ez a kivétel pedig éppen kitűnően alkalmas arra, hogy a csillagászat és asztrofizika között levő határvonal legegyszerűbb és legvilágosabb esetét megmutassa. Hirtelen fényes meteor villan fel az égen, befutja ragyogó pályáját, néhány pillanat múlva robbanásszerű jelenségek között eltűnik és darabokra tépve leesik a földre. A meteor megfigyeléséből a csillagász ki tudja számítani, hogy mily pályán jutott a Föld vonzási körébe; hogy elliptikus pályán keringve már régebben Naprendszerünkhez tartozott-e, vagy pedig hiperbolikus sebességgel rohanva a világtér távoli részeiből jött-e hozzánk? Az a chemikus pedig, a ki a megtalált meteordarabok alkotórészeit vizsgálja és megállapítja a bennök levő kőzeteket és fémeket, ebben az esetben tulajdonképpen az asztrofizikus munkáját végzi, a ki megkísérli a meteor fizikai eredetének kiderítését.

Nem tekintve az éppen leírt egyetlen kivételt, egyedül a fénysugár létesíti az összeköttetést az emberi ész és a csillagok világa között. A *fénysugáron* itt oly tágabb fogalmat kell értenünk, mely nevét tulajdonságai legfeltűnőbbjéről kapta, de egyaránt okoz chemiai és hőhatásokat. Világos az is, hogy a megfigyelés módszerei nagyon különbözőek, aszerint, hogy mi módon akarjuk a fénysugarat felhasználni, a szemre való közvetetlen hatásra, a fotografuslemezre gyakorolt chemiai változásra, vagy pedig a hőhatásra való tekintettel. A fénysugárnak, a melyet egyelőre az éterrezgések tovaterjedési irányának tekintünk, három tulajdonsága van: 1. magának a sugárnak az iránya, 2. az éterhullámok hossza és 3. az éterhullámok amplitudójának nagysága. Az imént láttuk, hogy a csillagászat körébe tartozik mindaz, a mi az irány meghatározásával függ össze és így az első tulajdonság az asztrofizikában nem szerepel, ellenben a másik két tulajdonságra vonatkozik az asztrofizika két főrésze. Minden, a mi az éterhullámok hosszának vizsgálatával függ össze, a színképelemzés körébe tar-



tozik; a hullámok amplitudónagyságának kutatása pedig a fotométria tudományára vezet. Ezek mellett legújabban a hősugárzásnak, jobban mondva az égitestekből, különösen a Napból kiinduló sugárzási összenergiának mérése halad igen sokat, úgy, hogy az asztrofizika önálló ágának tekinthető. A színképelemzés a világító tárgyakból kiinduló sugárzás összetételének vizsgálata vagy elemzése. A sugárzás különböző hatása szerint a spektroszkópi vizsgálatok vagy egyszerű optikai megfigyelések, vagy fotografiai fölvételek, vagy hőhatás-vizsgálatok. A tulajdonképpeni fotométria ma még csak optikai és fotográfiai módszerrel dolgozik. A hőhatás-(thermikus-) vizsgálatok külön területet alkotnak, mely könnyen beláthatóan a gyakorlati alkalmazásban majdnem teljesen a Napra vonatkozik.

Már most az a kérdés, hová kell sorozni az *égi fotográfiát*, ezt a két évtized óta felvirágozott segédműveletet. Az égi fotográfia sok tekintetben rendkívül becses módszer égi iránykülönbségek meghatározására. Elvileg közömbös, hogy szögtávolságokat közvetlenül az égen mérünk-e le, vagy csak utóbb, a fotografuslemez adta képen. Az égi fotográfiát tehát logikusan az asztronómiához és nem az asztrofizikához kellene számítanunk. Az égi fotográfia gyakorlati művelése azonban bizonyos *fizikai és kémiai* ismereteket és készségeket követel, melyek a csillagász rendes körén kívül esnek. Az égi fotográfia tehát tisztán technikai okokból maradt és tökéletesedett az asztrofizikusok kezében és a történelmi fejlődés alapján egyelőre legalább még részben az asztrófizikához számítják.

Csak részben sikerült legyőznünk azokat a kezdetben említett nehézségeket, melyeket az asztronómia és az asztrofizika határvonalának megállapítása elénk gördített. Tisztáztuk a megfigyelés módszereit, de a nehézségek újból jelentkeznek, ha a megfigyelések eredményeinek feldolgozására kerül a sor. Ezt legjobban talán néhány példa fogja megvilágítani. Az égitestek spektroszkópi megfigyelése kétségkívül az asztrofizika körébe tartozik; de ha ezek a megfigyelések az égitestek mozgására vonatkozó eredményeket adnak, ha például azt mutatják nekünk, hogy valamely látszólag egyszerű csillag tulajdonképpen két csillagból áll, a melyek a tömegvonzás törvénye szerint keringenek egymás körül, akkor e két égitest pályájának kiszámítása már az asztronómia körébe tartozik. Vagy pl., ha tisztán csillagászati helymeghatározás segít-

ségével megállapítjuk valamely napfolt látszó mozgását a Napon, akkor, a mennyiben ez a mozgás nem a tömegvonzás törvénye szerint megy végbe, okának kutatása feltétlenül az asztrofizikába tartozik.

Vajjon abbahagyja-e az asztrofizikus munkáját, valahányszor ily határterületre ér és bízza-e folytatását a csillagászra és megfordítva, vagy nem lesz-e előnyösebb, ha mindkettőnek megengedjük, hogy a szerint, a mint a feladat természete kívánja, behatoljon a másik területbe, mely korántsem ellenséges, hanem szorosan érdekkörébe tartozó? Azt hisszük, hogy e kérdésre az igenlő felelet pillanatig sem lehet kétséges és ezért népszerű asztrofizikában is megengedhető, hogy alkalom adtán tisztán asztronómiai eredményeket értékesítsünk. A nagyobb szabadság ebben az irányban talán jobban megengedhető, mint a túlzott korlátozás az érthetőség rovására. Természetes, hogy asztrofizikáról szóló könyvekből tisztán asztronómiai természetű tényeket ki kell zárunk, de mindamellett föl kell tennünk, hogy azokat az olvasók ismerik. Az asztrofizika alapul követeli az asztronómia ismeretét és a fizika általános ismeretét is; de azért a fizikának csak speciális, az asztrofizikában közvetlenül alkalmazásba kerülő részei valók ebbe a könyvbe.

A kifejtettek szerint az anyag elrendezése meglehetősen magától értetődő. Az asztrofizikai kutatás módszereit külön-külön kell tárgyalni, de egyaránt fel kell ölelni az asztrofizikának gyakorlati és elméleti részeit. Az első részben tehát külön fejezetekben tárgyaljuk a színeképelemzést, a fotométriát, a hősugárzást és a fotográfiát. A második részben előadjuk azokat a pozitív eredményeket, a melyeket az említett kutatási módszerek az égitestekről adtak. De ha ezeket az első rész négy fejezete szerint ismét különválasztanók, akkor alig érhetnők el jelen könyvünk végczélját, t. i. az asztrofizika vívmányainak teljes áttekintését. Miután tudjuk, hogy mily úton kapjuk az eredményeket és miután megismerkedtünk a leküzdendő nehézségekkel, nincs többé szükségünk arra, hogy az útról folyton számot adjunk; bennünket leginkább az érdekel, hogy áttekinthessük a különböző égitestekről az asztrofizikai kutatások segítségével elért eredményeket. A második részben tehát ezeket az eredményeket kell bemutatnunk az égitestek természete szerint csoportosítva.



A megfigyelésre szolgáló műszerek megértéséhez és a fizikai magyarázatokhoz is bizonyos ismeretek és elméletek szükségesek, a melyekre mindig újból kellene a figyelmet felhívnunk. Előnyösebbnek tartottuk, hogy ezeket az általános és alapvető ismereteket az első fejezetben előrebocsássuk.

---

ELSŐ RÉSZ.

AZ ASZTROFIZIKA MÓDSZEREI.



## ELSŐ SZAKASZ.

# FIZIKAI ÉS ÉLETTANI ALAPOK.

### ELSŐ FEJEZET.

## A sugárzás tana.

Az anyagnak, a mennyiben érzékeink alá esik, egyik általános tulajdonsága a hő. A hő valami belső mozgásféle, a melyet szilárd és cseppfolyós testeknél akként képzelhetünk, hogy fölteszszük, miszerint a test molekulái nincsenek egymással mereven összekapcsolva, hanem hogy bizonyos határok között periodikus rezgő mozgásokat végeznek. Mennél erősebbek ezek a rezgések, mennél nagyobb tehát a hő intenzitása, annál magasabb a test hőmérséklete; hőintenzitás és hőmérséklet közvetlen összefüggésben állanak egymással. A hőmérséklet mérésére rendszeren a higanynak azt a tulajdonságát használják fel, hogy hőmérséklet-emelkedéskor térfogata nagyobbodik. Az olvadó jég hőmérsékletét nullával szokás megjelölni, 100<sup>o</sup>-kal pedig a Celsius-féle beosztáson azt a hőmérsékletet, a melyet a 760 mm barométer-állásnál felforró vízből lecsapódó pára mutat. Nem helyes, hogy a 0<sup>o</sup> alatt levő hőmérsékletet hidegnek nevezzük, a mint a közönséges életben többnyire szokás; hideg nincs, csak magasabb vagy alacsonyabb hőmérséklet. A Celsius-féle beosztás szerint —273<sup>o</sup>-on van a hőmérsékletnek úgynevezett abszolút nullapontja, a melynél az anyagnak minden belső molekuláris mozgása megszűnik. Bár eléggé közel lehetett jutni ehhez az abszolút nullaponthoz, bizonyos gázok cseppfolyósítása által, melyeknek forráshőmérséklete nagyon alacsony, a milyenek pl. a hélium és a hidrogén, azért mégsem fog sohasem sikerülni ezt a pontot valóban elérnünk. A valóságban még magában a világtérben sem uralkodik ez a hőmérséklet, a



melyről pedig közönségesen azt teszik föl, hogy az abszolút nullaponton van, mert hiszen minden test az álló csillagok sugárzásának van kitéve, úgy hogy hőmérséklete szükségképpen kevéssel az abszolút nullapont felett van. Ha úgy határozzuk meg a hőt, hogy ez szilárd és cseppfolyós testeknél a molekulák rezgése, gáznemű testeknél pedig a gázmolekulák egyenes vonalú mozgása, akkor a hőmérséklet fogalma a mérhető anyaghoz van kötve: a világtér valamely üres helyén, a melyen anyag nincs, egyáltalán nincs is hőmérséklet, még abszolút  $0^{\circ}$  sem, bár legújabb időben az úgynevezett sugárzáshőmérséklet fogalmát vezették be, a mely az anyagtól független.

A különböző testek hője folyvást kölcsönös vonatkozásban áll egymással. Minden test minden más testtel hőt közöl és tőle hőt kap vagy közvetve, vagy közvetlenül, akár csak néhány milliméternyire vannak egymástól, vagy pedig sok billió kilométernyire. Ez a kölcsönös hőcsere három különböző módon történhetik, a melyek némelykor egyidejűleg szerepelhetnek: 1. hővezetéssel, 2. konvekcióval vagy hőátvitellel és 3. sugárzással. Vezetéssel a hőcsere vagy két test közvetlen érintkezése, vagy pedig valamely harmadik test közvetítése útján történik; konvekciónál a hőcserét mozgásban levő gázok vagy folyadékok közvetítik, míg sugárzásnál vagy közvetlenül az üres téren (éter) át megy végbe, vagy pedig hőátbocsátó (diathermás) anyagokon keresztül, a minők pl. az üveg, a levegő, a víz, a fa. A hőátvitelnek ezt a három módját három ismeretes példával fogjuk megvilágítani. Közönséges szobahőmérsékletű darab vasra fektessünk annyira felmelegített vasdarabot, hogy hőmérsékletét kezünk bőre már nem tudja elviselni. Rövid idő múlva ez a vasdarab annyira lehűl, hogy most már meg lehet fogni, míg az előbb hidegebb vasdarab érezhetően felmelegedett. Itt a hő átvitele egyik testről a másikra közvetlen vezetéssel történt. Vízrel teli kémcső felső részét hevítjük borszesz- vagy Bunsen-lángon. A víz felső része csakhamar forrni kezd, míg az alsó rész hideg marad és csak jóval később melegszik fel észrevehetően. A hő átvitele itt is vezetés útján megy végbe; de a víz a vassal ellentétben nagyon rossz hővezető és ezért a hőcsere nagyon lassú. Ha azonban az üveg alsó részét hevítjük, akkor csakhamar az egész vízmennyiség forrásba jut. Ebben az esetben az alsó vízrétegek vezetés következtében meleg-

szenek föl, a miáltal könnyebbé válnak s ennélfogva fölfelé áramlanak s a hidegebb vízzel való keveredés által azt idézik elő, hogy az egész vízmennyiség majdnem mindig egyenlő hőmérsékletű; ez már konvekziós hőcsere. A sugárzás létesítette hőátvitelt igen jól érezhetjük, ha a Nap sugaraiban sütkérezünk. Itt a hőátvitel az üres téren át, a mely hideg marad, 150 millió kilométernyi távolságból megy végbe s ahhoz, hogy ezt a sugárzást majdnem teljesen felfogjuk, megszakítsuk, elegendő oly fémernyőt közbeiktatni, melynek vastagsága a milliméternek csak kicsiny törtrésze.

Akárhogyan végezzük is a kísérleteket, mindig arra a tapasztalatra jutunk, hogy az említett három különböző módon létre jövő kölcsönös hőcserenél a melegebb test hőmérséklete csökken, a hidegebbé pedig emelkedik egészen addig, amíg hőmérséklet dolgában egyenlőség áll be. Sohasem esik meg az, hogy az eredetileg hidegebb testnek utóbb magasabb hőmérséklete lenne, mint a minőt az eredetileg melegebb test lehűlés következtében elért. Ebből igen fontos természeti törvény következik, melyet a mechanikai hőelmélet második főtételének neveznek: hidegebb test sohasem gyarapíthatja a melegebb test hőmérsékletét. Mindezeknek a kölcsönös hőcsereknak a vége az, hogy a világban szereplő összes testek ugyanazt a hőmérsékletet érik el: a világegyetem oly végállapot felé törekszik, a melynél az összes anyagnak mindenütt ugyanaz a hőmérséklete.

Másik alaptörvény, melynek minden fizikai magyarázatnál fontos szerepe van, az energia megmaradásának elve. Testeknek önmagában zárt rendszerében az összes energiaformák energiaösszege változatlan, állandó. Ez érvényes úgy a külső erőkre nézve, a melyekről mechanikai helyváltozások útján szerzünk tudomást, mint a belsőkre nézve is, melyek mint elektromosság, kémiai erő és mindenekelőtt mint hő hatnak érzékeinkre. Az az energia, a mely valamely helyen bizonyos alakban látszólag eltűnt vagy elveszett, éppen csak más alakot öltött, még akkor is, ha az új alakot nem lehet vizsgálódás nélkül közvetlenül észrevenni. A gyorsan robogó vonat szembeszökően hatalmas eleven erejét erős fékezés néhány pillanat alatt látszólag megsemmisíti. De csak látszólag, mert a valóságban sok másféle energiaformára változott át, a melyek azonban nem oly szembetűnőek. A legnagyobb rész súrlódás következtében hővé változott át, a mely a sínek, kocsik,



fékpofák hőmérsékletének emelkedésében nyilvánul meg, egy része még chemiai bomlásokat is létesített, a mennyiben a fából készült fékpofák a súrlódó felületeken megpörkölődtek, a mit a szag elárul, az erős hőmérsékletemelkedésről a szikrázás is tanuskodik. A vonat eleven erejének más része a sínek és keréktalpak kopását vonja maga után, ismét más része hanghullámokat kelt s így tovább.

Tudjuk most már, hogy sugárzásfolyamatoknál, a melyekkel a továbbiak folyamán közelebbről fogunk megismerkedni, energia-vesztesség szintén nincsen, bár mennyire is úgy lássék; a pontos kutatás mindig ki tudja mutatni a látszólag elveszett energia hollétét.

Mindenekelőtt kíséreljük meg képet alkotni magunknak a sugárzás lényegéről és okáról, a mely oly elképzelhetlenül messzire eső égitestek létét árulja el nekünk, sőt egyszersmind fizikai szerkezetükről is felvilágosít. Szándékosan használtuk ezt a kifejezést, hogy *képet* akarunk magunknak alkotni a belső sugárzásfolyamatokról, mert ennél többet úgy sem tehetünk. A vágy az okok kutatása után mindíg újból és újból arra serkenti a gondolkozó embert, hogy megkísérelje a dolgok és erők belső lényegének kikutatását és végül az egész lét végső okának kiderítését. De ez teljesen dőre törekvés, különösen az exakt természettudományok körében. A pusztá gondolkozás, a miként azt a régi filozófusok példája igazolja, reális eredményre nem vezet. Pusztán gondolkozással csak mesterséges rendszereket lehet teremteni, melyeknek a természet egészére semmi jelentőségük sincsen. Az exakt természetkutatás sem jut ezzel lényegesen előbbre; az egyetlen út a melyet követhet, az, hogy a természetet megfigyeli és kísérletek segítségével az összes kinálkozó jelenségeket általános szempontokba és képekbe foglalja össze. Ezeket a képeket föltevéseknek nevezzük. Minden hasznavehető föltevéstől szigorúan megkövetelhetjük, hogy egyetlen körébe tartozó természeti jelenség se ellenkezzék vele. Eszerint minden föltevésnek csak negatív érvényessége van. Sohasem állíthatjuk, hogy ez, vagy amaz a föltevés az igazi és a helyes, hanem a legjobb esetben is csak azt mondhatjuk róla, hogy eddig semmi sem jutott tudomásunkra, a mi vele ellenkeznék. De ez a helyzet minden pillanatban megváltozhatik, és ha csak egyetlen egy ellenmondás derül ki, akkor ezzel az egész föltevés hasznavehetetlenné vált. Minden föltevés, minden természettudományi magyarázat végső alapjai-

ban észrevevéseken, tehát érzéki benyomásokon alapszik, ennél fogva mindig érzéki képzetekkel kapcsolatos. De melyik komoly kutató ringathatná magát szerénytelenül abban a hitben, hogy az anyaghoz oly szorosan kötött gondolkozásával érzéki észrevevésekből következtetéseket vonhat az érzékfölöttire, a transzcendensre? A tudományban járatlan emberrel ellentétben éppen a komoly tudós nagyon jól tudja, hogy összes elméleteinek és föltevéseinek, a mennyiben a transzcendensre vonatkoznak, csak alaki jelentőségük van, és a természetvizsgáló számára az anyag és az erők lényege olyan, hogy ugyan fel tudják ölelni az eddig megfigyelt jelenségeket, némelykor eddig ismeretlen jelenségek megjövendölését is lehetségessé teszik, de mégis csupán érzéki képet nyújtanak. Megesik, hogy két teljesen különböző föltevessel egyformán lehet a körükbe tartozó természeti jelenségeket megmagyarázni, bár valójában a két föltevés egyáltalán meg nem állhat egymás mellett. Hosszú idő múlva végre sikerül oly kísérletet kitalálni, a mely vagy ellene mond a föltevések egyikének és így a másik javára dönt, vagy pedig egyik föltevessel sem vág össze és így új, harmadik föltevés felállítását teszi szükségessé.

Ilyenféle helyzetben vagyunk jelenleg a sugárzás magyarázatánál is. A fénynek a fizikában eddig használatos mechanikai rezgéselméletével szemben az utolsó évtizedekben az elektromágneses fényelmélet nyomult mindinkább homlokterbe, melynek matematikai elméletét MAXWELL fejtette ki s melynek kísérleti alapjait HERTZ rakta le. Az utolsó néhány év óta pedig az ionelmélet kezd mindinkább nagyobb tért hódítani a fizika minden ágában. Ilyféle vitás kérdések tárgyalására népszerű munka nem alkalmas hely. Elég, ha itt rámutatunk arra, hogy a fizika és a természettudományi megismerés haladására mily rendkívül fontosak az ilyen új föltevések és elméletek. De azért hangsúlyoznunk kell, hogy a dolgok és az erők lényegéről azért semmitsem tudunk. Itt megelégszünk azzal, hogy a sugárzás lényegéről és okáról egész röviden azt a képet adjuk, a mely minden eddigi tapasztalással a legjobb összhangzásban van.

Föl kell tennünk e szerint, hogy az egész világtér a fizikusoktól éternek nevezett valami tölti ki, a mely érzékszerveinkkel közvetlenül nem észlelhető.



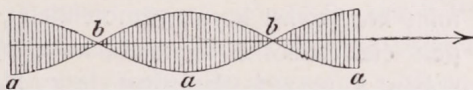
Az éter elképzelhetlenül finom ; minden testet áthat és a mozgást észrevehetően nem akadályozza. Az érzékszerveinkkel közvetlenül észlelhető anyag egész teljességében alá van vetve az általános vonzás törvényének és ezért súlyamérhető anyagnak nevezzük. Ezzel ellentétben az éter nincs alávetve az általános vonzásnak : az éter súlya mérhetetlen. Azonkívül minthogy az éter a térben mindenütt jelen van, egyetlen másik pozitív tulajdonságának a tökéletes rugalmasságot teszszük fel, mely abban nyilvánul, hogy esetleges összenyomás után, az összenyomást előidéző ok megszűntével, pontosan eredeti sűrűségét kapja vissza. Itt melleleg meg kell jegyeznünk, hogy ennek a nem érzékelhető éternek létét azért kell szükségszerűen föltennünk, mert egyébként a távoli testeknek egymásra való hatása a mi felfogóképességünknek megmagyarázhatatlan lenne. Erők hatását tökéletesen üres téren át nem tudjuk elképzelni. Bár az előbbiek értelmében az éter nem fejt ki ellenállást valamely testnek, azaz a mérhető anyag halmazának mozgásával szemben, azért magában a testben a testtől nem független. A testen belül nagyobb a sűrűsége, mint a szabad térben és a mérhető anyag *belső munkájánál* az éternek is jut szerep. Valójában még ma is úgy gondoljuk, hogy a hő, a rugalmasság stb. tulajdonságai egyedül az ősrégi atómos anyag elmélet alapján magyarázhatók meg ; föltesszük, hogy az anyag lehető legkisebb, azaz tovább nem osztható részecskékből, úgynevezett atómköböl áll, a melyeknek többé-kevésbbé bonyolult csoportosulásai alkotják a molekulákat és ezáltal előidézik a chemiai elemek és vegyületek különféleségét. Föltesszük, hogy csak abszolút nulla-hőfokon vannak a molekulák egymással mereven összekapcsolva, ezen a hőfokon felül a kölcsönös eltolódás nemcsak lehetséges, hanem valóban mindig meg is van. A chemiai anyagok halmazállapota, kezdve a szilárdtól egészen a gázneműig, attól függ, hogy molekulái mennyire mozgékonyak, vagy csak éppen eltolhatók, vagy pedig szabadon mozoghatnak.

A hő mozgásnak, még pedig periodikus, szabályszerűen ismétlődő mozgásfajtának tekinthető, a mely a súlyamérhető anyagon belül megy végbe. Ez úgy értendő, hogy vagy maguk a molekulák végeznek ily periodikus mozgásokat (rezgéseket, forgásokat), vagy pedig úgy, hogy az atómköbök vagy molekulák belsejében még elektromos rezgések is mennek végbe, más szóval, hogy a molekulák-

ban az elektromos potenciál vagy az elektromos sűrűség gyors változásai létesülnek. Bár ez mindaddig, míg nem ismerjük az elektromosság lényegét, csak szó a fogalom helyett, erre a pontra mégis később vissza kell térnünk. Azonban bárminő legyen is ennek a mozgásnak a mivolta, az említett föltevések alapján mégis bizonyos, hogy a mozgás periodikus, továbbá, hogy az atomokat körülvevő éterre szintén hatással van, továbbá, hogy ebben rezgésállapotot létesít, a melyet sugárzásnak nevezünk és a mely az éter tökéletes rugalmasságánál fogva, minden veszteség nélkül terjed a térben elképzelhetlenül nagy távolságokra.

Rugalmas közegeknek általános tulajdonsága, hogy periodikus rezgéseket tovább adnak és így energiát szállítanak egyik helyről a másikra. Itt a hang ismeretes példáját fogjuk megemlíteni. Ha hangvillát megütünk, világosan láthatjuk a villa ágainak rezgéseit. A szomszédos levegő szintén rezgésbe jut, a rezgés tovaterjed s ha fülünket éri, a hang érzetét kelti bennünk.

Eddig tart a hasonlóság, a mely a további részletekben eltűnik. Először is a hang nem terjed



1. rajz.

mérhetetlen távolságra, hanem már aránylag csekély úton majdnem teljesen eltűnik. Ez azért van, mert a levegő nem tökéletesen rugalmas közeg, benne a rezgések sűrűlódással járnak, a mely a rezgések energiáját lassanként fölemészti azáltal, hogy hővé alakítja át. De a rezgések természete is egészen más a hangnál, mint a sugárzásnál. A hangvilla ágainak ide-oda mozgása a levegő folytonos sűrűsödését és ritkulását idézi elő, azaz a levegő részecskéi a rezgésnél a hang terjedése irányában mozognak ide-oda és így hosszshullámok létesülnek. A testek belsejében végbemenő hőmozgások ellenben az éter-részecskéknak oly periodikus mozgását idézik elő, a mely a tovaterjedés irányára merőlegesen megy végbe: keresztrezgések származnak, a minők például a kifeszített hegedűhúrnál keletkeznek. Az 1. rajzon a nyíl jelölje a sugárzás irányát, a sugarat. Az éterrészecskék a sugár irányában nem változtatják helyzetüket, hanem a reája merőleges vonalak mentén rezegnek. Az *a*-val jelzett helyek, a melyeken a részecskék helyváltozása (kilengése) a legerősebb, az



ügynevezett hullámhegyek. A  $b$ -vel jelzett helyek a csomópontok; ezeken nem történik semmiféle helyváltozás. Az  $a$ -tól  $a$ -ig vagy  $b$ -tól  $b$ -ig való távolságot hullámhossznak nevezzük. Itt röviden figyelmeztetnünk kell arra, hogy a rezgések közönségesen nem egyetlen síkban mennek végbe — mint pl. a rajzban a papiros síkjában — hanem gyors változásban minden lehetséges síkban; nem is mennek át mindig a tengelyen, hanem körülötte körökben vagy ellipszisekben történnek. E különböző körülményektől függő jelenségek a sugárzás polarizációs tünetényeit szolgáltatják. Rajzunk síkban egyenes vonalúan polarizált sugárzást ábrázol. Egyelőre e mellett a legegyszerűbb fogalom mellett fogunk maradni.

Képzeljünk az üres térben kicsiny, sugárzó testecskét, »tömegpontot«. Ennek a számára nincs semmiféle irány, a melyet előnyben részesítene, azaz sugárzását minden irányba egyformán és ugyanazzal a sebességgel küldi. Gondoljunk e testecske körül, mint középpont körül, gömbfelületet, akkor ezen a felületen minden éterrészecske ugyanabban a pillanatban pontosan ugyanabban a mozgásállapotban lesz. Ha például adott pillanatban valamely részecske éppen a legnagyobb kilengésben van, akkor az egész gömbfelület valamennyi részecskéje szükségképpen szintén a legnagyobb kilengésben lesz. Mondhatjuk tehát, hogy valamely tömegpontból kiinduló sugárzás gömbalakú hullámfelületekben terjed tova; egy és ugyanazon a gömbfelületen a »rezgés fázisa« azonos. Erről úgy alkothatunk magunknak egyszerűbb képet, ha a sugárzást nem a térben, hanem síkban gondoljuk, a melyben a gömbök köröket metszenek ki. A sugárzás folyamatáról teljes képet nyújt azoknak a jelenségeknek a szemlélete, a melyeket a nyugvó vízbe dobott kő a víz színén előidéz. Tisztán láthatjuk, hogyan terjednek a hullámok köralakban a hullámkeltés középpontjából kiindulva. E közben a vízrészecskék távolsága a középponttól nem változik, hanem a terjedés irányára merőlegesen föl- és lefelé rezegnek. Ily körön adott pillanatban a rezgés fázisa mindenütt ugyanaz; a hullámhegy például zárt köralak. Világosan kitűnik e képből az is, hogy a hullámkeltés középpontját és a köralakú hullám valamely pontját összekötő egyenes, vagyis a sugár, magában véve egyáltalán nem reális; a mi reális, az a vízrészecskék emelkedése és süllyedése a hullám-

ban, benne megy végbe a részecskék mozgása s ezzel az energia tovaterjedése. A térre vonatkozó szigorú matematikai-fizikai vizsgálatoknál tehát csupán a hullámfelületet szabad bevezetnünk. Azonban számos oly optikai vizsgálatnál, a melyeket elegendő közelítéssel tisztán geometriailag végezhetünk, rendkívül kényelmes és szemléletes a hullámfelületre merőleges egyenes, vagyis a sugár, a melyhez sokszor fogunk folyamodni.

A sugárzás koncentrikus terjedése most egyszerű módon mutatja, hogy miként fogy a sugárzás-energia a sugárzó középponttól való távolsággal. Minthogy a sugárzó energia a súrlódás nélküli éterben veszteség nélkül terjed tova, ennélfogva világos, hogy az az energia-mennyiség, a mely a sugárzás következtében adott idő alatt, pl. 1 másodpercnyi időegység alatt egy gömbfelületen áthalad, mindig ugyanaz, tekintet nélkül arra, hogy mily nagy ennek a gömbfelületnek távolsága a sugárzó ponttól, vagyis hogy mekkora a gömb sugara. Ha pl. 10-zel fejezzük ki ezt az energia-mennyiséget 3 méter sugarú gömbnél, akkor 10 lesz az energia-mennyiség kétszer akkora, vagyis 6 méter sugarú gömbnél is. De ismeretes, hogy a gömbfelület nagysága a gömb-sugár négyzetével nő. (Példánkban a második gömb felülete négyszer akkora, mint az elsőé, ennélfogva a második gömbnek egy négyzetcentiméterjén csak negyedrészt annyi energia mehetett át, mint az első gömbnek egy négyzetcentiméterjén.) Így jutunk ahhoz az egészen általános törvényhez, hogy a bizonyos területre eső sugárzás-energia a sugárzó forrástól való távolság négyzetével fogy.

76344

A sugárzásra tehát teljesen ugyanaz a törvény érvényes, mint a tömegek vonzására vagy a gravitációra.

Tegyük most fel, hogy a térben az elsőn kívül még egy második sugárzó pont is van, a melyre természetesen ugyanazok a törvények érvényesek, mint az elsőre. A sugárzás tőle is koncentrikus gömbalakú hullámfelületekben terjed. Mi történik akkor, ha a két hullámfelület találkozik? A feleletet ismét a víz színén ejtett kísérlet fogja megadni. Ha két követ dobunk egyszerre a vízbe, a kövek beesésének mindkét helyéből koncentrikus hullámgyűrűk indulnak ki, a melyek egymáson áthaladnak a nélkül, hogy egymást a legkevésbé is zavarnák. Mindegyik pontból a hullámok akként terjednek, mintha a másik pont nem is szerepelne. Nagyon





könnyen megfigyelhető az egyes végrészecskek viselkedése az ilyen két hullámrendszer találkozásánál: minden részecske azt a mozgást végzi, a mely az egyes mozgások összegezéséből adódik. Ha az egyik rendszer hullámhegye a másiknak hullámhegyével találkozik és ha a mozgást fölfelé pozitívnak, a lefelé irányulót pedig negatívnak nevezzük, akkor nagyobb pozitív mozgás keletkezik, azaz két hullámhegy találkozásánál oly hullámhegy keletkezik, melynek magassága oly nagy, mint a két egyszerű hullámhegyé együttvéve. Két hullámvölgy találkozásánál két negatív mozgás adódik össze, azaz a hullámvölgy mélyebb lesz. Ha hullámhegy hullámvölgygyel találkozik, akkor pozitív és negatív mozgás adódik össze, a mozgás más szóval kisebb lesz; ha a két mozgás egyenlő erejű volt, akkor egymást teljesen megszünteti, a vízirészecske ezen a helyen mozdulatlan. A közbeeső fázisok eredő mozgásait is ugyanez az elv szabályozza. Világos, hogy ugyanezek a folyamatok mennek végbe, ha két hullámközéppont helyett akárhány van jelen, mert az előbbi elv alapján két rendszer eredő mozgását a harmadikkal, az így keletkezőt a negyedikkel kombinálhatjuk s így tovább.

Ha a víz színén tett tapasztalatainkat a térbeli sugárzásra viszzük át, akkor a következő tételhez jutunk: A különféle tömegpontokból kiinduló hullámfelületek a térben úgy terjednek, hogy egymást nem zavarják. Az egyes éterrészecskek mozgását az előbb említett elv szabályozza, a melyet az összegeződés elvének nevezünk s a mely a fénytánban számos érdekes és fontos jelenségre vezet (interferencia). Közbevetőleg megjegyezzük, hogy éppen az interferencia-jelenségek azok, a melyek fizikai ismereteink mai állása szerint leghatározottabban a mellett szólanak, hogy a fény és egyúttal mindenféle sugárzás lényegben rezgőmozgás.

Láttuk, hogy a sugárzás terjedésiránya oly egyenes vonal, a mely merőleges a gömbalakú hullámfelületre; a sugárzás a térben egyenes vonalban terjed. De lehetnek oly körülmények, a melyekből kitűnik, hogy ez az egyszerű föltevés nem helyes. Képzeliük, hogy a valamely pontból kiinduló sugárzás útjába éles élő, átlátszatlan fémmernyőt teszünk. Ekkor az ernyő mögött, közvetlenül az él mentén csak árnyéknak szabad uralkodnia, más szóval az ernyő mögött semmiféle sugárzás-energiának sem volna szabad jelen lennie. A kísérlet azonban az ellenkezőről győz meg ben-



nünket: az ernyő mögé is jut sugárzás. Úgy látszik, mintha a különben egyenes vonalú terjedés hajlítást szenvedett volna, ezért szólunk fényelhajlástűneményekről vagy diffrakcióról. Ezek az interferencia elve alapján tárgyalandó jelenségek nagyon fontosak úgy a sugárzás elméletére, mint későbbi tárgyalásainkra s ezért ezeket majd bővebben kell ismertetnünk. Itt csak azt jegyezzük meg, hogy a fényelhajlás tűneményeit a felfedezője nevét viselő HUYGHENS-féle elv alapján kell megmagyaráznunk. Ez az elv azt mondja, hogy valamely éterrezecskének sugárzás okozta rezgése ismét új sugárzás forrásának tekintendő, és hogy ennél fogva a sugárzás által megmozgatott éter minden pontját új, gömbalakú hullámfelületek középpontjának kell tekintenünk. Az éterben tehát látszólag a rezgéseknek teljesen kibogozhatlan összevisszasága van jelen. A HUYGHENS-féle elv szigorú matematikai alkalmazása azonban lehetővé teszi a zűrzavarnak aránylag egyszerű feloldását, mindazonáltal ennek magyarázatába itt nem bocsátkozhatunk. Kitűnik, hogy az összegeződés elve alapján a szomszédos pontokból eredő rezgések egymást szüntelenül kölcsönösen lerontják, kivéve a hullámfelületre merőleges irányban, a mely a sugár iránya. A HUYGHENS-féle elv tehát a szabad térben szintén a sugárzás egyenesvonalú terjedésének föltevésére vezet. Azonban másképpen áll a dolog, ha valamely pontban akadály lép a sugárzás útjába, mint pl. a közbetett ernyő esetében. Ekkor az ernyő peremén levő rezgésközéppontok körül nem szűnik meg teljesen az új sugárzás kibocsátása; ezek a pontok is valóban mint önállóan tevékeny rezgésközéppontok szerepelnek és az eredeti iránytól eltérő sugárzást bocsátanak ki az árnyék területébe is.

Eddig a sugárzás problémájával egész általánosságban foglalkoztunk. Még semmiféle föltevással sem éltünk a sugárzó test természetére vonatkozólag, a melyet eddig csupán tömegpontnak tekintettünk. A rezgések fajairól, erősségéről, a hullámok hosszáról és a terjedés sebességéről sem szóltunk még semmit sem, azonfelül mindig azt tettük föl, hogy a sugárzás az üres térben megy végbe, hogy tehát mérhető anyag nem befolyásolja (kivéve a diffrakcióernyőt). Most tekintetbe kell vennünk ezeket a különféle pontokat, a mikhez a hangrezgések ismeretes jelenségeit gyakran fogjuk felhasználni.

A megütött hangvilla csak egyetlen, teljesen meghatározott magasságú hangot bocsát ki; egy másodpercz alatt csak egészen határozott számú rezgést végezhet s megfelelő számú hanghullámot bocsáthat ki, a melyek fülünk segítségével a hang érzetét idézik elő agyvelőnkben. Az ilyen hangot tiszta, vagy egynemű hangnak nevezzük. Trombitán pl. szintén lehet ugyanezt a hangot előidézni. Tisztán halljuk, hogy a magassága ugyanaz, mint a hangvilla hangjáé, ennél fogva a rezgések száma is ugyanaz, és mégis a trombita hangja egészen másképpen hangzik, mint a hangvilla hangja. Ez azért van, mert ez már nem egynemű hang. A trombita a hang magasságát meghatározó főrezgéseken kívül még más gyengébb rezgéseket is bocsát ki, a melyeknek összehatása a »hangszínezet«-et idézi elő, a mely különböző hangszereknél más és más. Ha a mellékrezgések száma nagyon nagy, úgy hogy a főhangot egészen, vagy majdnem elnyomják, akkor egyáltalán nem keletkezik többé zenei hang, hanem zörej. A hangnak nagyobb, vagy kisebbfokú tisztasága attól függ, hogy a rezgésbe hozott test mennyire rezeghet szabadon. Könnyen belátható, hogy ez hangvillánál hasonlíthatatlanul könnyebben lehetséges, mint például megütött koczkaalakú fatömbnél.

Hasonló jelenségek vannak a sugárzásnál is. Itt főleg a halmazállapottól függ a rezgések szabadsága. Gázokban a molekulák legmesszebb esnek egymástól, ennél fogva kölcsönösen a legfüggetlenebbek is. Könnyen elképzelhetjük, hogy a gázmolekulák rezgésénél a lehető legnagyobb lesz a szabadság s hogy ennél fogva a hangvillához hasonlóan csak a gáznál várhatunk egészen tiszta vagyis egynemű sugárzást; és így egészen jól elgondolható, hogy valamely gáz a rezgéseknek csak egyetlen fajtáját bocsátja ki. Szilárd vagy cseppfolyós testeknél a molekulák erős kölcsönös függésben vannak egymással; szabad rezgések alig fognak létesülni, hanem mindenféle lehetséges rezgés egyszerre fog keletkezni: a sugárzás itt egyértékű lesz a zörejjel. Ebben a szakaszban csak a szilárd (vagy cseppfolyós) testeknek teljesen inhomogén sugárzásával fogunk foglalkozni, a gázok sugárzását egészen a színekélelemzés fejezetébe utaljuk, bár gyakran kell majd dolgoznunk egynemű sugárzással. Ezt a sugárzást akkor azösszsugárzásból kihasított, egészen szűk körű színeképrészletnek kell gondolnunk. Arra is föl kell itt hívnunk a figyelmet, hogy igen lényeges különbség van egyrészt a gázok, másrészt a szilárd, vagy cseppfolyós testek hőjének magyarázata



között. Míg az utóbbiaknál csak rezgésszerű mozgások keletkezhetnek, addig a gázoknál a molekulák szabadsága oly nagy, hogy egymástól függetlenül egyenes vonalban is mozoghatnak, a míg falba vagy más molekulába nem ütköznek. Ennek az egyenesvonalú mozgásnak sebessége szolgáltatja a gázok belső hőmérsékletének mértékét s ez a hőmérséklet az említett sebesség négyzetével arányos. Csak a molekulák összeütközése következtében keletkeznek oly rezgések, a melyek látható sugárzást létesítenek.

Molekuláris hőrezgés, a mely azután mint sugárzás az étert együttrezgésre kényszeríti, minden olyan testben észlelhető, a melynek hőmérséklete az abszolút nullafok felett van. A rezgések száma éppen úgy, mint erősségük, a hőmérséklettől függ, oly értelemben, hogy viszonylagosan hideg testeknél csak lassú és igen csekély erősségű rezgések vannak. A hőmérséklet emelkedésével mindig szaporábbak a rezgések és egyszersmind a rezgések erőssége (intenzitása) is növekszik. Egészen hasonlóan viselkedik a kibocsátott sugárzás is. Viszonylagosan hideg testek sugárzása általában nagyon gyenge és csak lassú rezgéseket tartalmaz. Melegebb testek sugárzásában a lassúakon kívül gyorsabb éterrezgések is vannak jelen, a melyeknek erőssége is arányosan nagyobb.

Az előbb lassú rezgésekről szóltunk; de ezt a lassúságot csak nagyon viszonylagos értelemben szabad vennünk. Már a mérhető anyag hullámainak, a hanghullámoknak rezgései másodpercenként sok ezerre rúghatnak. Az éter azonban hasonlíthatatlanul finomabb a levegőnél és így itt minden képzeletet felülhaladó nagy rezgésszámok szerepelhetnek.

A leglassúbb éterrezgés három billió rezgés másodpercenként, a mi viszonylag lassú, abszolút értelemben véve pedig elképzelhetetlenül gyors. Ez a rezgés hőhatásából még éppen kimutatható s főalkotórészét teszi az oly testektől származó sugárzásnak, melyeknek hőmérséklete mélyen a fagyáspont alatt fekszik. A tárgyalás kényelmessége és a felfoghatóság könnyűsége érdekében előnyösebb az elképzelhetetlenül nagy rezgésszámok helyett az éterhullámok hosszának bevezetése. Ekkor ugyan megfordítva, nagyon kicsiny számokhoz vagy méretekhez jutunk, de ezek nem elképzelhetetlenek. A rezgésebbességek és hullámhosszak egymásba való átváltoztatása felette egyszerű s azon a természeti törvényen



alapszik, hogy üres térben a sugárzás mindig ugyanazzal a sebességgel terjed, tekintet nélkül arra, hogy mekkora a rezgések száma. Ez a terjedésssebesség — melyet a fényrezgésekre vonatkozólag mértek meg és a melyet e sajátos rezgésmód szerint fényterjedésssebességnek is neveztek el — rendkívül nagy, nevezetesen 300 000 km másodpercenként. A hullámhosszat úgy kapjuk, hogy a terjedésssebességet elosztjuk a rezgéseknek másodpercenkénti számával. 300 000 km elosztva három billióval, 0·1 mm-t ad eredményül, azaz a fönt említett lassú rezgések a 0·1 mm hosszúságú igen nagy éterhullámokat létesítik. Mennél gyorsabban mennek végbe a rezgések, annál rövidebbek lesznek természetesen a megfelelő hullámok. E hullámok hosszúságának egységül a fizikában nem a millimétert veszszük — mert akkor kényelmetlen törtekkel kellene számolnunk, — hanem a mikront, a mely a milliméternek ezredrésze, azaz a mikron = 0·001 mm, melynek rövid jelül a görög  $\mu$  betűt választották. Az előbbeniek alapján tehát  $\mu$  (egy mikron) hullámhossznak megfelel 300 billió rezgés másodpercenként.

Már megemlítettük, hogy a sugárzást magát a mi érzékeink nem tudják észrevenni. A világtér maga, a melyen minden irányban annyi számtalan hullám rezeg keresztül, sötét. A sugárzások csak akkor válnak észrevehetővé, ha súlyamérhető anyaggal találkoznak s akkor a legáltalánosabb nyilvánulásuk a hőkeltés. Az éterhullámokban tovaszállított energia hővé alakul át, fokozza a sugárzás útjába eső test hőmérsékletét. Miként később látni fogjuk, a sugárzásnak átalakulása hővé a sugárzás intenzitásának általános mértéke. De a sugárzás kimutathatóságának hővé való átalakulása alapján egyelőre a gyakorlat határt szab; a felső határ 100  $\mu$ -nál van, az alsó 0·18  $\mu$ -nál. Az alsó határt az a körülmény szabja meg, hogy ily rövid hullámhosszúságú sugárzás számára még a nagyon vékony levegőrétegek is áthatlanokká válnak.

Anyaggal való találkozáskor a sugárzás az általános hőhatáson kívül még más hatásokat is létesíthet, a melyek szerint azután az erre alkalmas sugárzások összességét elnevezzük. Lényegben három ilyen hatást különböztetünk meg.

1. *Az optikai hatás.* A rövid hullámoknak aránylag csak igen keskeny területe képes szemünk reczehártyájára (retina) hatni s a fény fajlagos érzetét előidézni és ezzel számtalan jelenségnek megismerését alak, fény- és színárnyalatok alapján lehetővé tenni. Ez

a köz  $0.8 \mu$  hullámhossztól  $0.4 \mu$ , esetleg  $0.35 \mu$ -ig terjed, ennél fogva a fönntemlített sugárzásterületnek csak körülbelül egy hat-századrészét öleli fel. A »fény sugárzás« hullámhosszától függnek a színek.  $0.8 \mu$  és  $0.4 \mu$  között jelentkeznek sorjában a szivárvány színei, a vörös, narancsszín, sárga, zöld, kék, ibolya. E színek összekeveredése bennünk a fehér szín érzését kelti.

2. *A kémiai hatás.* A rövid hullámhosszúságú sugárzás nagyszámú kémiai vegyületet tud szétbontani. Ez a bontó hatás bizonyos ezüstsókon a legszembetűnőbb. Azoknak a sugárzásoknak összességét, a melyek ilyen bontások előidézésére kiválóan alkalmasak, kémiailag hatásos sugárzásnak, vagy röviden fotográfiai sugárzásnak nevezzük. Ez a sugárzás  $0.5 \mu$ -tól egészen az eddig megfigyelt legrövidebb hullámhosszúságokig terjed. Az alsó határt nem lehet pontosan kijelölni. Bizonyos kémiai vegyületek nagyobb, mintegy  $2 \mu$ -ig terjedő hullámhosszúságú sugárzások iránt is érzékenyek.

3. *Az elektrodinamikai hatás.* Nagyon nagy éterhullámok a súlyamérhető anyagban elektromos jelenségeket idéznek elő. 1 mm-től egészen több száz kilométer hosszúságig figyeltek már meg ilyen hullámokat. Eddig csak különleges elektromos folyamatokkal lehetett őket előállítani s a forró testek sugárzásában eddig még nem sikerült őket megtalálni. Még nem tudjuk, hogy abban egyáltalán jelen vannak-e, vagy pedig intenzitásuk sokkal kisebb, semhogy észrevehetnők őket.

Eddig teljesen figyelmen kívül hagytuk, hogy a testek kémiai és fizikai különbségei micsoda hatással vannak a sugárzásra s csupán azt tettük föl, hogy a sugárzó test szilárd, vagy cseppfolyós halmazállapotban van. A testeknek túlnyomóan nagy része valóban az eddig leírt sugárzástörvényeknek engedelmeskedik. Vannak azonban bizonyos testek, a melyek eltérően viselkednek. Ilyenek például a fluoreszkáló és foszforeszkáló testek. Tárgyaslásainkból ezeket egyelőre ki kell zárunk. A keletkező azaz eredő sugárzásra nézve egyáltalán nem közömbös a többi testeknél sem, hogy milyen fizikai és kémiai sajátágaik vannak, a mint ezt a következő kísérlettel könnyen kimutathatjuk. Ha platinadrótcskán kis üveggyöngyöt tartunk borszesz- vagy Bunsen-lángba, a platina-drótcska és az üveggyöngy igen hamar ugyanarra a hőmérsékletre emelkedik; de a sugárzásuk korántsem egyenlő; a platina



sokkal fényesebben izzik, mint az üveg. A platina sugárzása tehát sokkal intenzívebb, mint az üvegé. Ha ezt a kísérletet más anyagokkal megismételjük, hasonló, ha talán nem is oly erős sugárzásbeli különbségeket fogunk találni. Általában azt tapasztaljuk, hogy a sugárzás erőssége különböző testeknél különböző, még pedig oly bonyolult módon, hogy ez a különbség a testek hőfokától és a sugárzás hullámhosszától függ. Ha pl. valamely  $a$  testnél  $1000^{\circ}$ -on,  $0.1 \mu$  hullámhosszra a sugárzás félakkora, mint egy másik  $b$  testnél, akkor általában ez a viszony  $2000^{\circ}$ -on nem fog változatlanul megmaradni s ugyancsak nem fog megmaradni  $1000^{\circ}$ -on, de  $1 \mu$  hullámhossznál. A testek emisszió- vagy sugárzó-képessége tehát függ a hőmérséklettől és a hullámhossztól.

Behatóbb vizsgálatnál azt találjuk, hogy az emisszióképességre nem csupán a sugárzó test kémiai természete irányadó, hanem fizikai sajátságainak is fontos szerepük van, különösen fontos a felület alkata. Ha pl. a platina felülete érdes vagy fénytelen, akkor a kibocsátóképesség nagyobb, mint a mikor a felülete fényesre van csiszolva. A sugárzás kibocsátásánál és felvételénél, illetve a hővé való átalakulásnál hasonló a testek viselkedése. Kísérlettel ez is rendkívül egyszerűen kimutatható. Ha két egyforma hőmérőt, melyek közül azonban az egyiknek gömbje korommal van befekettítve, a Nap sugárzásának teszünk ki, akkor azt vesszük észre, hogy a bekormozott hőmérő nagyon gyorsan emelkedik, még pedig olykor  $30^{\circ}$ -ra rúgó értékkel. A másik, fényesgömbű hőmérőben a higany csak lassan emelkedik s egyáltalán nem ér el oly magas állást, mint a kormozott hőmérőben. Kétségtől ugyanaz a sugárzás érte a két hőmérőt; különböző viselkedésük azonban azt mutatja, hogy a sugárzás iránt való felvevőképesség volt különböző; a bekormozott hőmérő sokkal gyorsabban és erősebben alakította át a sugárzást hővé, illetve hőmérsékletemelkedéssé, mint a fényes hőmérő. Közelebről vizsgálva a dolgot, ez a jelenség egészen természetesnek látszik. A fekete szín ugyanis a fény hiányának jele, a korom tehát a fénysugárzást legnagyobbbrészt elnyeli; ellenben a fényes, azaz tükröző higany a sugárzás legnagyobb részét visszaveri, ennél fogva csak keveset vesz föl magába s ennek természetesen kifejezésre kell jutnia abban a hőfokban, a melyet a hőmérő mutat. A testeknek különböző sugárzásfelvevőképességét elnyelőképes-

ségnek nevezik. A testek elnyelőképessége is nem csupán chemiai és fizikai sajátságaiktól, hanem a kibocsátóképességhez hasonlóan a hőmérséklettől és a hullámhossztól is függ. Az elméleti színekpelemzés fő feladata, hogy a kibocsátó- és elnyelőképesség között levő vonatkozások törvényszerűségeit megállapítsa.

Mikor a kormot feketének mondjuk, ezzel a koromnak azt a tulajdonságát jeleztük, hogy a fénysugarak legnagyobb részét elnyeli, azaz a megérkezésnél majdnem teljesen hővé alakítja át. Minden tapasztalat szerint ugyanez történik a többi hullámhosszúságú sugárzásokkal is, ennél fogva a szén korom alakjában oly test, mely valóban azösszsugárzás legeslegnagyobb részét elnyeli; de azért mégsem teljesen. Eddig ugyan még nem találtak oly természetes anyagot, melynek elnyelőképessége még nagyobb lenne, de azért mégis elképzelhető, hogy van olyan test — és ilyent csakugyan mesterségesen elő is lehet állítani —, a mely minden sugarat teljesen elnyel, a melynek elnyelőképessége tehát a gondolható legnagyobb. Ezt az eszményi testet abszolúte fekete testnek, vagy röviden fekete testnek nevezzük s a tőle kiinduló sugárzást röviden »fekete sugárzás«-nak fogjuk mondani, bár a valóságban ez a sugárzás igen erős és fehér. Ezzel meghatároztuk a fekete test elnyelő képességét. Ezen meghatározások és magyarázatok alapján, a melyekhez a fekete testnek kibocsátóképességét is csatoljuk még, most már hozzáfoghatunk a színképelemzés elméleti részének tárgyalásához.

Mi van már most azokkal az alapokkal, a melyeket a sugárzás tana a fotométria számára szolgáltat, a mely nem tekinti a hullám hosszát és csak az intenzitást teszi vizsgálódása tárgyává? A viszonyok itt ugyan sokkal egyszerűbbek, de sajnos nem vezethetők le matematikai segédeszközök nélkül. Az éterrezgések matematikai vizsgálatából következik, hogy a sugárzás intenzitása, tehát a magával szállított energia mennyisége, egyenlő hullámhossznál egyedül a kilengés nagyságától függ és pedig akként, hogy az intenzitás a kilengés négyzetével arányosan növekszik. Ha tehát valamely sugárzásnál az éterrészecskék nyugalmi helyzetüktől kétszer oly messzire távolodnak, mint valamely másik sugárzásnál, akkor az elsőnek intenzitása négyszer akkora, mint az utóbbié. A fotométria tanában nem szükséges a belső sugárzásfolyamokkal behatóbban foglalkoznunk; ezt a tant egyedül az inten-



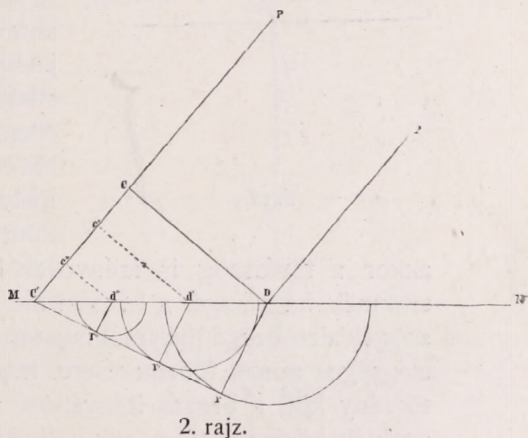
zítás fogalmára támaszkodva fejthetjük ki s ennél fogva az okbeli kapcsolatot felismeréséhez az imént kimondott törvény elegendő.

Eddig a sugárzást csak az üres térben vizsgáltuk, azaz fölítettük, hogy a sugárzó és a besugárzott test között csak a tiszta éter van, a melyben minden hullám egyenlő sebességgel terjed. Ha azonban a sugárzás oly térben történik, a mely mérhető és a sugárzást átbocsátó anyaggal van telve, akkor ez a körülmény a terjedéss sebesség csökkenését okozza. Ha valamely anyag a sugárzást, vagy ennek legalább egy részét átbocsátja, akkor azt vagy fényt, vagy hőátbocsátó (diatermán) közegnek nevezzük, aszerint, a mint csak főképpen a rövidebb fénysugarakat, vagy csak a hosszabb hullámú hősugarakat bocsátja át magán. A mellett fölteszszük ezekről a közegekről, hogy egyneműek (izotrópok), azaz hogy bennük a sugárzás éppen úgy, mint az éterben, minden irányban egyformán terjed. A sebességcsökkenés nagysága szerint a közegeket optikailag sűrűbbeknek vagy ritkábbaknak mondjuk. Így például az üveg optikailag sűrűbb közeg, mint a víz, ez ismét optikailag sűrűbb, mint a levegő s így tovább. Bár nincs határozott törvényszerűség s bár vannak kivételek, mégis azt mondhatjuk nagyjában, hogy a közegek általában optikailag annál sűrűbbek, mennél nagyobb a fajsúlyuk, azaz mennél több anyag van ugyanakkora térben. Minthogy a terjedéss sebesség csökken, mikor a sugárzás az éterből valamely közegbe, vagy ritkább közegből sűrűbbe megy át és minthogy a rezgések száma változatlan marad, azért a hullámhosszaknak szintén fogyniok kell.

Említettük, hogy az éterben minden hullámnak ugyanaz a terjedéss sebessége, függetlenül a hullámhossztól. Közegekben ez nem így van, hanem általában a rövid hullámok lassabban terjednek, mint a hosszúak, bár itt is vannak figyelemreméltó kivételek. Ha tehát sűrű közegnek igen vastag rétegén át figyelünk a fehér fény hirtelen felvillanását, akkor azt először vörösnek látunk és csak a többi színek megérkezésével menne át fehérbe. Az, hogy a valóságban ezt sohasem figyelhetjük meg, onnét van, mert a fény óriási sebessége miatt sok százezer kilométer vastagságú, sűrű közegrétegre lenne szükségünk, hogy a különféle hullámhosszak megérkezésének idejében keletkező különbségek számunkra észrevehetővé váljanak.

A sűrűbb közegbe való belépéskor a sugárzásebesség csökkenésének egyik közvetlen következménye a fénytörés. A különböző hullámhosszúságú sugarak terjedésebbességének különböző csökkenése pedig a sugárzás szétszórására vezet. Mindkét jelenséggel közelebbről kell foglalkoznunk, mert az optikai műszerek szerkesztése ezen alapszik s különösen a színekélelemzésnél gyakorlati szempontból fontosak. A kifejezés egyszerűsége kedvéért az általános sugárzás helyett mindig csak a fénysugárzást fogjuk vizsgálat tárgyává tenni; azonban szigorúan szem előtt kell tartani, hogy minden eredményünk a sugárzás többi fajára is érvényes, és hogy a következő vizsgálatoknál az optikai sugárzást csupán kényelmi szempontból részesítjük elsőbbségben. Eljárásunkat különben igazolja az is, hogy az általános sugárzás tanát éppen optikai irányban kutatták át legelőször és legbehatóbban.

Ezeknek a jelenségeknek a tárgyalására a már fentebb ismertetett HUYGHENS-féle elvet használhatjuk. Tegyük fel, hogy a 2. rajzban  $MN$  sík határfelület az éter és valamely közeg között, vagy pedig ritkább és sűrűbb közeg között, s legyen az alsó a sűrűbb. A  $CD$  vonal

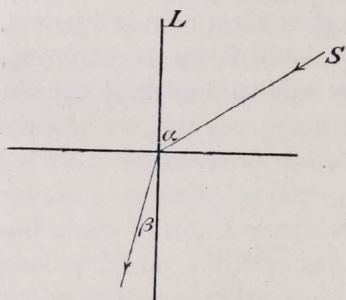


2. rajz.

ábrázolja valamely egynemű, tehát határozott hullámhosszúságú sugárzás hullámfelületének egy részét, mely hullám nagyon távoli pontból indult ki, úgy hogy a körvonalnak ezt a kis darabját egyenes vonalnak tekinthetjük. A hullámfelület ferdén találja az  $MN$  határlapot, úgy hogy  $P$  felől jöve a  $D$  pont éri először a határfelületet. HUYGHENS elve alapján akkor a  $D$  pontot új sugárzó középpontnak tekinthetjük. Ennélfogva belőle új gömbalakú hullámfelület indul ki, a mely az alsó, sűrűbb közegben is tovaterjed. A hullámfelületnek  $P'$  felől jövő  $C$  pontja valamivel később találja a határlapot  $C'$ -ben. Ez alatt az idő alatt a  $D$ -ből kiindult új hullámok még nem terjedhettek annyira, mint  $CC'$  és ennélfogva  $Dr$ , az új hullámfelület sugara, ebben a pillanatban



rövidebb, mint  $CC'$ . A közbeeső  $d'$  és  $d''$  pontokra tökéletesen ugyanez a megfontolás érvényes, s az eredmény az, hogy a határfelületen való átmenet után a  $C'r$  hullám más hajlást vett fel, mint az eredeti  $CD$  hullám és pedig oly értelemben, hogy az alsó közegben a hullámfelület és határlap között levő szög kisebb lett, mint a megfelelő szög az eredeti hullámban. Tekintsük most a hullámfelület helyett a reá merőleges sugarat

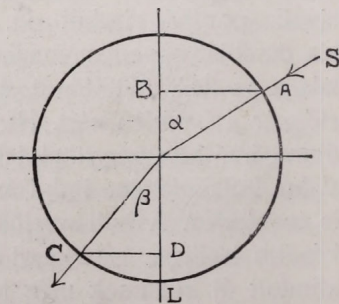


3. rajz.

(3. rajz.) és jelöljük  $\alpha$ -val a beesés szögét, vagyis azt a szöget, a melyet az  $S$  sugár és a határfelületre merőleges  $L$  egyenes (beesési merőleges) egymással bezárnak, a hasonló értelemben számított kilépésszöget pedig jelöljük  $\beta$ -val, akkor  $\alpha$  mindig nagyobb  $\beta$ -nál, ha az alsó közeg a sűrűbb, ellenkező esetben  $\alpha$  kisebb, mint  $\beta$ . Ha oly hullámot választottunk volna, melynek beesésszöge még kisebb mint az, a melyet a 3. rajz tüntet fel,

akkor a törésszög is arányosan kisebb lenne s a törés teljesen eltűnnék, ha a sugár a beesési merőlegessel összeesik. Különböző szögek alatt beeső hullámokhoz tartozó rajzok geometriai szemlélete elégséges annak fölismerésére, hogy az eltérítést nagyon egyszerű törvény köti a beesés irányához. A matematika nyelvén ezt úgy szokták kifejezni, hogy adott hullámhosszra és két adott közegre vonatkoztatva a beesési és törési szög szinuszaik hányadosa állandó.\*) Ezt a hányadost törésmutatónak szokás nevezni s ez

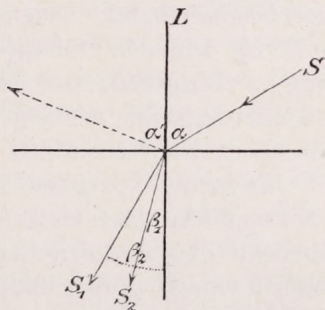
\*) Ezt a következőképpen kell érteni. Rajzoljunk a beesés pontja mint középpont körül tetszésszerű sugárral kört (3a. rajz). A beeső és a megtört sugárnak a körrel való metszéspontjaiból húzzunk merőlegeseket az  $L$  beesési merőlegesre; rajzunkban az  $AB$  és  $CD$  vonalak. E két vonal ábrázolja geometriailag az  $\alpha$ , illetve a  $\beta$  szög szinuszeit, ha a kör sugarának hosszát egységnek vesszük. E két vonal hosszának hányadosa tehát állandó ugyanarra a két közegre nézve, akármilyen is az  $\alpha$  szög. (Fordító.)



3a. rajz.

nagyobb 1-nél, ha a második közeg sűrűbb, mint az első és kisebb 1-nél, ha a második közeg ritkább. A megfontolások egyszerűsítése céljából mindig azt fogjuk fölteni — hacsak kifejezetten mást nem jegyzünk meg — hogy az egyik, a ritkább közeg, levegő, melynek törésmutatója az éterre vonatkoztatva már olyan kevéssel tér el az egységtől, hogy a különbség rendesen elhanyagolható. Ebben az esetben egyszerűen a sűrűbb közegnek, pl. az üvegnek törésmutatójáról beszélhetünk. Ennek a törésmutatónak minden közeg számára általában más és más értéke lesz az illető közegben a fénysebesség csökkenésének mértéke szerint.

De ugyanazon közegnél is ez a csökkenés annál nagyobb, mennél kisebb a hullámhossz. Így például a vörös fénysugár kevésbé tér el irányától, mint a zöld vagy a kék fénysugár. Minden közegnek minden fajta sugár számára külön törésmutatója van, a valóságban tehát végtelen sokféle a törésmutató, a melyek közül tájékozódás céljából néhányat kiválaszthatunk. A 4. rajzon az  $S$  sugár ismét sűrűbb közeg felületét találja  $\alpha$  beesési szög alatt. De ezúttal ne legyen a sugárzás egynemű, hanem kettőből legyen összetéve, pl. vörösből és ibolyából. Minthogy a kétféle sugárzás



4. rajz.

különböző csökkenést szenved, azért a vörös  $S_1$  sugár kevésbé térítetik el, mint az ibolya  $S_2$ , s ezért a közegben elválnak egymástól s mindegyik a törés alaptörvénye szerint viselkedik. Ha az  $S$  sugár a sugárzás három különböző fajtáját tartalmazná, akkor háromfelé válnék. Ha pedig mindenféle fényből lenne összetéve, akkor végtelen sok egyes sugárra kellene széjjelbomlania, más szóval, ha fehér fény ferde szög alatt lép sűrűbb közegbe, akkor az egyes sugárnemeknek folytonos, legyezőszerű szétágazása jó létre, mely a látható sugárzás számára az  $S_1$  és  $S_2$  határok között a  $\beta_1$  és  $\beta_2$  szögeken belül mozog. Ha szemünket  $S_1$ -től  $S_2$ -ig végigjártatnók, akkor a vöröstől az ibolyáig minden lehető színnek folytonos egymásutánját látnók számtalan átmeneteikkel együtt. A vörösöntúli sugárzás az  $S_1$  sugártól kifelé balra, az ibolyántúli



pedig  $S_2$ -től kifelé jobbra kerülne el. A sugaraknak ezt a térbeli szétválását, a melyet a különböző hullámhosszúságú sugaraknak különféle eltérítése idéz elő, fényszórásnak (dispersio) nevezzük. Az  $S_1$  és  $S_2$  között levő szög, mely a  $\beta_1$  és  $\beta_2$  törésszögek különbsége, a mi példánkban a vörös és az ibolya sugarak közti szórásszög. Ez a szórásszög függ a két sugárnem törésmutatójától s azonkívül a beesés szögétől. Ha a sugarak merőlegesen esnek be (a beesés szöge nulla), akkor a szórásszög nulla, azaz színképszórás nem létesül. Mennél nagyobb a beesésszög, annál erősebb a szórás.

Midőn valamely sugárzás valamely közeg felületét találja, nem csupán törés és szóródás az egyedül létrejövő tünetények. Nincsen olyan közeg, a melybe valamely sugárzás teljes értékével behatolhatna, hanem a sugárzásnak kisebb-nagyobb része a közeg felületén mindig visszaveretik. Meg fogjuk kísérteni, hogy a visszaverődésnél végbemenő nehezen magyarázható folyamatokat legalább némileg megérthetővé tegyük, a minél részben WÜLLNER tárgyalásmódját követjük.

Egynemű közegben a hullámmozgás folyton előre halad s sohasem fordulhat visszafelé, sőt a már keresztülfutott rétegeket abszolút nyugalomban hagyja maga mögött. Éppen úgy, mint a hogy a mozgó golyó, midőn ugyanolyan tömegű másik golyóval összeütközik, teljes sebességét erre ruházza át s az ütközés után nyugalomban marad: minden rezgő részecske is teljes sebességét a legközelebbi, vele egyenlő részecskének adja át. Ha azonban a golyó oly másik golyóval ütközik össze, melynek tömege az övéénél nagyobb vagy kisebb, akkor mindkét esetben az ütközés után is tovább fog mozogni. Ha a második golyó tömege nagyobb volt, mint az elsőé, akkor az első golyó visszagurul; a megütött golyó előrefelé mozog, az ütköző pedig hátrafelé, előbbi mozgásával ellentett irányban. Ha a második golyó tömege kisebb, akkor az ütköző golyó ezzel a másikkal együtt ugyanabban az irányban folytatja előbbi útját. A hullámmozgásnál is így kell lennie, hiszen itt az egyes részecskék mozgása a szomszédos részecskék hatásának következménye. Ha a hullámmozgás két közeg határához ér, a mozgás áterjed a második közegre s ott oly hullámmozgást idéz elő, a mely e közegre érvényes föltételek között terjed tova, a mint ezt már előbb láttuk. De egy-

úttal az első közeg utolsó rétegében levő »ütköző« részecskék is megtartják mozgásukat, a mely ismét ebben az első közegben terjed tova és pedig e közegnek sajátos tulajdonságai alapján. Ez az érkező hullám visszaverődése, reflexiója.

A visszaverődés iránya pontosan ugyanaz, mint az ütköző anyagrészecskéknél. Ha a billiardgolyó a keretet merőlegesen éri, akkor pontosan ugyanazon az úton megy vissza; ha ferdén éri a keretet, ismét pontosan ugyanazon szög alatt pattan vissza, de az ellenkező oldal felé. A fénysugár tehát mindig úgy verődik vissza, hogy a visszaverődés szöge  $\alpha'$ , egyenlő a beesésszöggel,  $\alpha$ -val (v. ö. a 4. rajzot, melyen a pontozott vonal jelenti a visszavert sugarat).

A visszavert és a második közegbe jutott fény mennyiségének viszonya függ a törésmutatótól, de azonkívül meglehetősen bonyolult módon a beesésszögtől is. A visszavert fény mennyisége és a törésmutató közti összefüggés csak abban az esetben válik egyszerűbbé, mikor a sugár merőlegesen találja a közegfelületet. Az összefüggést kifejező képlet szavakban annyit mond, hogy a visszavert fény mennyisége annál nagyobb, mennél nagyobb a törésmutató, tehát mennél nagyobb a közeg optikai sűrűsége. Ugyanígy áll a dolog egy és ugyanazon közeg esetében a különböző fénynemekhez tartozó törésmutatóra nézve; az ibolyaszínű fény erősebben verődik vissza, mint a vörös s következőleg a közegen áthaladó, megtört fényre nézve szükségképpen ennek ellenkezője érvényes, vagyis aránylag több vörös fény megy át, mint ibolyaszínű. Általánosságban azt mondhatjuk, hogy optikai közegtől visszavert vagy megtört sugárkeverékben az egyes sugárnemek összetétele más, mint az eredeti sugárkeverékben. A megtört sugárkeverék még ezenkívül is tetemesen módosul, mert tökéletes optikai közeg nincsen, hanem minden közegben az egyes sugárzásfajták kisebb, vagy nagyobb fokú elnyelése megy végbe, melynek erőssége nagymértékben függ az átsugárzott réteg vastagságától.

Még azokkal a tünetekkel kell röviden foglalkoznunk, melyek akkor létesülnek, midőn a sugárzás úgynevezett átlátszatlan testet ér, azaz olyan testet, melyen a sugárzás bizonyos rétegvastagságon túl nem tud keresztülhatolni. Mindjárt itt megjegyezzük, hogy a természetben nincsenek teljesen áthatlan testek,



még a legáthatlanabbak is, t. i. a fémek, nagyon vékony rétegeken észrevehető fény mennyiséget bocsátanak keresztül. Ebből azt kell következtetnünk, hogy valamennyi testnél a sugárzás valóban behatol a legfelsőbb rétegbe. Átlátszó és átlátszatlan testek szigorú szétválasztása tehát nem lehetséges. A következőkben átlátszatlan testeken olyan testeket fogunk érteni, a melyek vékony, de még mindig jól mérhető vastagságú rétegeken keresztül nem bocsátanak át látható sugárzást.

Ha fénysugárzás éri az ilyen testet, akkor a sugárzás egy részét elnyeli és a test belső melegévé alakítja át, másik részét pedig visszaveri. Ha a test felszíne érdes, akkor a visszaverődés minden irányban történik; ez az úgynevezett szétszórt visszaverődés (diffúz reflexió). Ha a test felszíne sima, a visszaverődés — ez esetben tükrözés — határozott irányban történik a már ismertetett szabály szerint. Sem tökéletesen érdes, sem tökéletesen tükröző testek nincsenek; szétszórt és szabályos visszaverődés mindig egyidejűleg létesül. Az elnyelés és a kétféle visszaverődés különböző sugárzástípusokra nézve különböző s ebből keletkezik a bennünket körülvevő tárgyak fényerősségbeli és színbeli hatásainak sokfélesége.

Miként már láttuk, teljesen fekete testnek az olyan testet nevezzük, mely minden reá eső sugárzást, még legvékonyabb rétegben is, teljesen elnyel és hővé alakítja át. Abszolút szürke test lenne az olyan, amely ugyan nem nyeli el teljesen az összes sugarakat, de valamennyi sugárból egyformán sokat nyel el. Mennél inkább nyel el valamely test bizonyos sugárzást s ennek ellenében mennél inkább ver vissza bizonyos más sugárzást, annál határozottabb »színe« lesz ennek a testnek és az ilyen testeket színes testeknek nevezzük. A szín általában annál jobban érvényesül, mennél érdekesebb a színes test felszíne, tehát mennél erősebben van túlsúlyban a szétszórt visszaverődés. Teljesen tükröző testnek természetesen nincsen saját színe, mert minden ráeső sugárzást tökéletesen visszaver; ezt az eszményi tükrözést leginkább az ezüsttel lehet elérni. Az arany pl. fehérszínű testekről is sárgás színezetű tükröképeket ad, azaz sima állapotban is az arany mindenféle színű sugárzást elnyel, de legkevésbé a sárga sugarakat, a melyeket főleg visszaver.

Számos test, melyeket optikailag átlátszatlanoknak kell tekintenünk, a más hullámhosszúságú sugarakat többé vagy kevésbé

jól átbocsátja. Így pl. a kéregpapiros a fénysugárzást teljesen elnyeli, de a vörösöntúli hősugarakat meglehetősen jól átbocsátja. A tiszta víz ellenben nagyon átlátszó, de a vörösöntúli sugárzást majdnem teljesen elnyeli. A kéregpapiros átlátszatlan, de hőátbocsátó; a víz átlátszó, de csak kevésbé hőátbocsátó. Mindezekre a viszonyokra a felszín szerkezete és a kémiai alkat mértékadó, a mely utóbbinál az allotróp módosulatokra is tekintettel kell lenni. Igen jó példa erre a szén, mely amorf alakjában mint korom valamennyi test közül legjobban közelíti meg a fekete testet, míg kristályos alakjában mint gyémánt a másik véglét közelében van és rendkívül átlátszó.

Eddigi tárgyalásainkban ugyan föltettük, hogy a sugárzásnál a legkisebb részecskék rezgése a terjedés irányára merőlegesen történik, de nyílt kérdés maradt, hogy mily módon mennek végbe ezek a rezgések, így különösen arról a síkról nem mondtunk semmit, a mely a rezgések irányát magában foglalja. A magyarázatoknál és rajzoknál hallgatagon azt tettük fel, hogy a rezgések a rajz síkjában mennek végbe, mert máskülönben nem tudnók azokat oly egyszerű módon ábrázolni. Rendesen azonban nem ez a rezgések elrendeződése. Valamely fényforrásból, pl. lángból kiinduló sugaraknál a rezgések minden lehetséges síkban történnek, de azért mindig merőlegesen a sugárra, úgy hogy a fény hatása, a sugártól számítva, minden irányban teljesen egyforma. Ezt legegyszerűbben úgy képzelhetjük el, hogy igen rövid ideig, pl. a másodperc milliomodrészéig, a rezgés egy síkban megy ugyan végbe, de hogy ennek a síknak a helyzete rövid időközökben folyton változik. Ezek a változások oly rövid idő alatt mennek végbe, hogy többé nem tudjuk azokat érzékelni s így a rezgésirányokban teljes rendezetlenség uralkodik, a melynek csak középállapotát tudjuk megfigyelni. Az ily rezgésektől alkotott fénysugarat természetesnek nevezzük.

Bizonyos berendezések segítségével, a melyekről rögtön szó lesz, valamely fénysugárban egészen határozott rezgéssíkot tudunk előállítani. Az ily fényt azután poláros vagy sarkított fénynek, az említett különös esetben vonalasan sarkított fénynek nevezzük. Az ilyen sugárnak különböző síkokra nézve különböző tulajdonságai vannak. Polarizátornak nevezzük a fizikai berendezésnek azt a részét, a melynek segítségével az eredeti fény sarkítását elő-



idézzük, analizátornak pedig azt a részét, a melynek segítségével a bekövetkezett sarkítást megállapítjuk és megvizsgáljuk.

A sarkítás előidézésére szolgáló legkönnyebben érthető módszer a sugárzásnak átlátszó közegek sík felületein, pl. üvegen való visszaverődésén alapszik. Ha természetes fény merőlegesen esik üveglemezre, akkor a visszaverődés után is természetes fény marad; ha pedig ferdén esik az üvegre, akkor sarkítást szenved, még pedig nemcsak a visszavert fény, hanem az is, a mely az üvegbe behatol és ott megtörik. A jelenség a következőképpen megy végbe. Függőlegesen álló sík üveglemezre ferdén essen valamely természetes fénysugár. A fény visszavert része találjon ferdén egy másik üveglapot, melyet akként lehet egy tengely körül forgatni, hogy ugyancsak függőleges eredeti helyzetéből vízszintes helyzetbe lehessen hozni. A második lemeznek, az analizátornak illetén forgatásakor azt fogjuk tapasztalni, hogy a tőle visszavert fény megváltozik és végül annál gyöngébb lesz, mennél inkább közeledik a vízszintes helyzethez. Ebben az utóbbi helyzetben, mikor tehát az első lemeznek, a polarizátornak a síkjára merőlegesen áll, a visszavert fény mennyisége minimum, azaz a lehető legkisebb. Ha most ezenkívül változtatjuk a beeső fény beesésszögét s a lemezeknek hajlását egymáshoz, akkor azt találjuk, hogy a második lemezen való legkisebb visszaverődés erőssége szintén változik. Bizonyos esetben az analizátor többé egyáltalán nem ver vissza fényt, még pedig mindig akkor, mikor a beesésszög a derékszög alatt keresztezett két lemez számára olyan, hogy a megtört sugár merőlegesen áll a visszavert sugárra. Ebben az esetben teljes sarkítás állt be és a jelzett beesésszöget a sarkítás szögének nevezzük. Ez egyszerű viszonyban áll a lemezek törésmutatójával, még pedig akként, hogy e sarkításszög tangense egyenlő a törésmutatóval. Például oly üvegfajta számára, melynek törésmutatója  $1.50$ , a sarkítás szöge  $56^{\circ} 19'$ .

A sarkítás síkjának a polarizátor síkját nevezzük, a melyre tehát az analizátor síkjának merőlegesen kell állania, hogy a második visszaverődés minimumát létesítse.

A teljes sarkításnál az éterrészecskék arra kényszerítettnek, hogy a fény terjedésirányára merőleges rezgéseiket már csak *egy* síkban végezzék s fölteszszük, hogy ez a rezgés a sarkítás síkjára merőleges. Ha a visszaverődés nem pontosan a sarkítás

szöge alatt jön létre, akkor a visszavert fénynek csak egy része szenved sarkítást ebben a síkban, a fény ilyenkor csak »részlegesen sarkított«. A visszavert fénynek teljes sarkítása mellett is a *megtört* fény mindig csak részlegesen sarkított, de mindig merőlegesen a visszavert fényre. Az, hogy a sarkítás itt csak részleges lehet, könnyen kitűnik abból, hogy sokkal több fény megy át, mint a mennyi visszaverődik. Üvegnel a sarkítás szöge alatt a fénynek mintegy 6%-a szenved teljes sarkítást és verődik vissza, a keresztlülménő 94%-ból tehát szintén csak 6% lehet sarkítva.

Az eddigi meghatározásokból kitűnik, hogy az éterrézecskek útja teljesen szigorúan meghatározott. A rezgések a fénysugárhoz merőlegesen, azonkívül egyetlen síkban mennek végbe, következőképpen a részecskek csak egyenes vonalakban mozognak. Ezért az átlátszó közegeken való visszaverődésből származó sarkítást »egyeses vonalú sarkításnak, vagy röviden, vonalas sarkítás«-nak nevezzük.

Már láttuk, hogy két különböző fázisú sugárnak találkozásából miként jönnek létre az interferenciajelenségek, és ez akkor is létrejön, ha az interferáló sugarak részben vagy teljesen sarkítottak és ha mind a kettő ugyanabban a síkban van sarkítva. Ha a fényerősségek egyenlők, de a fázisok ellentétesek, akkor az interferencia a fény teljes kioltását idézi elő. Ha ez a két föltétel teljesül ugyan, de a két sugár sarkítássíkja nem ugyanaz, akkor a fény csak gyöngül, de sohasem oltódik ki teljesen. Ha a két sarkítássík egymásra merőleges, akkor sem interferencia, sem fénygyöngülés nem jön létre. Ezekben az esetekben az eredetileg két különböző síkban végbemenő mozgások a sugár körül elliptikus mozgássá tevődnek össze. Ha a két sugár intenzitása egyenlő s ha azonkívül fáziskülönbségük pontosan egy-negyed hullámhossz, akkor körmozgás keletkezik, a mely az elliptikusnak egyik különös esete. Az ilyenféle összetevődéssel megváltoztatott sarkításállapotot általában »elliptikus sarkítás«-nak szokták nevezni, az utóbb említett különös esetben pedig »körös sarkítás«-nak. Az elliptikus sarkítás másképpen is létesíthető, mint két polarizált sugár kombinációjával, t. i. először azáltal, hogy a már egyenesvonalúan sarkított sugarat tükröző *fémfelületről* veretjük vissza. Az eredeti egyenesvonalú sarkítás csak akkor marad meg változatlanul, ha a beeső sugár sarkítássíkja pár-



huzamos vagy merőleges a tükröző fémfelülethez ; minden más esetben elliptikussá változik. Másodszor elliptikus sarkítás keletkezik a teljes visszaverődésnél és körös sarkítás az utóbbinak többszöri ismétlésénél.

Minthogy a rezgések a sugár körül minden irányban teljesen szimmetriásan mennek végbe, föltehetnők, hogy a köralakúan sarkított fénysugár semmiben sem különbözhetik a természetes, nem sarkított fénytől. De azért ez mégsem így van. Üvegfelületről való visszaverődésnél ugyan a köralakúan sarkított sugár úgy viselkedik, mint a természetes sugár, a mennyiben a felület forgatásánál mindig egyenlő erősen verődik vissza. Ha azonban köralakúan sarkított sugarat vonalasan sarkítottal kombinálunk, akkor a különbséget világosan kimutathatjuk.

A sarkítás előidézésére szolgáló második módszer nem oly könnyen érthető s némi általánosabb magyarázatra szorul. Mindazok a közegek, a melyeket eddig sugárzásra megvizsgáltunk, úgynevezett izotróp közegek voltak, azaz olyanok, a melyek a sugárzással szemben minden irányban egyformán viselkednek. A fényterjedés sebessége s ezzel összefüggésben a töréviszonyok itt teljesen függetlenek attól az iránytól, a melyben a fény terjed. Ennek megfelelően a hullámfelületet a kiindulópont körüli koncentrikus gömbfelületnek tekinthettük. Ilyféle izotróp közegek példajaképpen az üveget, a vizet és a levegőt említettük.

Van azonban nagyszámú olyan közeg, melyet anizotrópnek neveznek, mert bennük a fénysugarak különböző irányokban különféleképpen viselkednek. Bizonyos körülmények között izotróp közegeket is anizotrópokká lehet változtatni, pl. üveget erős egyoldalú nyomással. Általában pedig a kristályok természetes anizotróp közegek. Ha tiszta kristályt, pl. hegyi kristályt simára csiszolunk, akkor a közeg első tekintetre teljesen egyneműnek és egyforma belső szerkezetűnek látszik, éppen úgy, mint az üveg és azért mégis különböző irányokban különböző fizikai tulajdonságokat mutat, mely irányok a kristályos szerkezettel vannak benső összefüggésben. Legkönnyebben észrevehető elsősorban a hasíthatóság. Míg gyakran bizonyos irányban kifejtett gyöngye nyomás a kristályt kettéválasztja, addig ez más irányokban még nagy erőmegfeszítés árán sem sikerül. Hasonlóan viselkednek a kristályok a rugalmassággal, a hő- és elektromos vezetéssel szemben és

végül optikai tekintetben is. Sok kristálynál ezek a különbségek igen bonyolult természetűek, némelyeknél azonban nagyon egyszerűek; itt csupán az utóbbiakkal akarunk foglalkozni.

A négyszöges és a hatszöges rendszerhez tartozó összes kristályoknál már a kristály külső alakja alapján lehet oly szimmetria tengelyt kijelölni, mely egyszersmind a fizikai tulajdonságokra nézve is szimmetriatengelyül szolgál. A szimmetriatengellyel párhuzamos irányban mások a fizikai tulajdonságok, mint a reá merőleges irányban, de az utóbbiak egymás között mind egyenlők. Mint-hogy ez a sugarak útjára nézve is érvényes, azért ezt a szimmetriatengelyt optikai tengelynek is nevezik. Optikai főmetszetnek nevezzünk minden az optikai tengelyhez párhuzamos síkot.

Az egytengelyű kristályok összes optikai jelenségeit azzal a föltevéssel lehet magyarázni, hogy a fény terjedése sebessége az optikai tengellyel párhuzamos irányban más, mint az erre merőleges irányban; ez azon az egyelőre elméletileg be nem bizonyítható alapföltevélen nyugszik, hogy az éter az egyik irányban optikailag sűrűbb, mint a másokban. A mi szokott kifejezéseinkkel élve, ezt így is mondhatjuk: Az optikai tengellyel párhuzamos irányban a kristály törésmutatója más, mint erre merőlegesen. Mészpátnál például a két törésmutató a zöld fény számára 1.664 és 1.489; a különbség tehát elég tetemes.

De abból, hogy két, egymásra merőleges irányban két különböző törésmutató van érvényben, könnyen előre megmondható, mily jelenségeknek kell bekövetkezniök, ha egytengelyű kristálysík határlapjára tetszőleges szög alatt esik fénysugár: két sugárra kell oszlania, melyek közül mindegyik a maga külön útján halad a beeső sugár helyzete és iránya szerint. Az ily kristályokat ezért kettősen törő kristályoknak is nevezik.

A két eltérített sugár útjainak számos lehető esetei közül itt csak a legegyszerűbbet és a gyakorlatban leggyakrabban előfordulót fogjuk megemlíteni. A kristály optikai tengelyével párhuzamosan sík lapot csiszolunk; a sugár beesés-síkja legyen merőleges az optikai tengelyre. A sugár ekkor két részre oszlik, a melyek közül mindegyik a hozzá tartozó törésmutatónak megfelelően az ismert szinusz törvény szerint halad tova. Ily módon csiszolt lemeznél a két sugár különböző szögek alatt lép ki. Ha ily lemezen ferdén nézünk keresztül, minden tárgyat duplán látunk.



Tárgyalásainkra nézve nagyon fontos az a körülmény, hogy a sugarak kettéválása az egytengelyű kristályokon való áthatolás alkalmával mindig a sugarak sarkításával jár. A két sugár vonalasan sarkíttatik és pedig egymásra merőlegesen, úgy hogy ezek a kristályok igen egyszerű eszközt szolgáltatnak sarkított fény előállítására. Az a sugár, melynek rezgései az optikai tengelyre merőlegesek, útjában mindig a közönséges szinusztörvénynek engedelmeskedik s ezért rendes sugárnak nevezzük; a másik, erre merőlegesen sarkított sugár ezt a törvényt csak az előbb említett különös esetben követi, máskülönben kilép a beesés síkjából; ezért rendellenes sugárnak mondjuk. Arra nézve, hogy a két sugár közül melyikkel jár együtt nagyobb törésmutató, nem lehet általános szabályt felállítani, mert a különböző kristályos anyagok ebben a tekintetben különféleképpen viselkednek. Ha a nagyobb törésmutató a rendes sugárhoz tartozik, akkor a kristályt negatívnak, a másik esetben pedig pozitívnak mondjuk. A méspát a negatív, a kvarcz a pozitív kristályokhoz tartozik.

Az eddig elmondottak alapján tájékozódhattunk arról, hogy miként fogja fel a fizikus azt, a mi a távoli égitestekről hozzánk mint sugárzás érkezik s hogy ez hogyan viselkedik, mikor az üres téren át való hosszú vándorlása után a Földünket alkotó anyaggal találkozik. További vizsgálat czéljából a sugárzást külön műszerekkel — a melyeknek lényeges alkotórészei közé a mi szemünk is tartozik — előírt utak betartására kényszerítjük és a következő fejezetek feladata, hogy a sugárzásnak ezt a kényszermozgását általánosságban megismertesse és hogy a fizikai valóságtól élesen elválassza a látszatot, a mely érzékszerveink tökéletlenségének következménye.

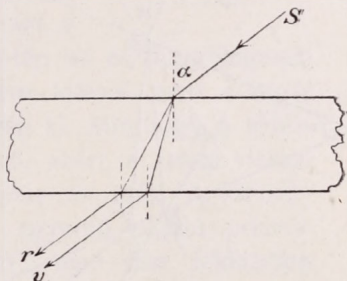
---

## MÁSODIK FEJEZET.

## A fénytán elemei.

Miután az első fejezetben kifejtettük, mit kell fénysugáron értenünk, igen kényelmesen és érthetően írhatjuk le az optikai jelenségeket, ha a fénysugarakat geometriai szempontból tekintjük.

A következő fejtegetéseknél, a mennyiben fényszétbontásról lesz szó, mindig két egynemű fénysugarat képzelünk, a melyek közül az egyik vörös, a másik pedig ibolyaszínű. Nem kell külön kiemelnünk, hogy a többi fénysugarak útja e két határ közé esik és hogy, ha az általános sugárzásról van szó, a vörösöntúli sugarak a vörös határsugáron, az ibolyántúli sugarak pedig az ibolyaszínű határsugáron kívül fekszenek. Hacsak külön nem jegyezzük meg, törésmutátón mindig a korona- (crown-) üvegnek levegőre vonatkoztatott törésmutatóját fogjuk érteni. A vörös sugarat  $r$ -rel, az ibolyát  $v$ -vel jelöljük. A sugarak útját a legtöbb esetben síkban ábrázolhatjuk, mert minden részarányosan megy végbe. Az eltéréseket később külön fogjuk kiemelni.



5. rajz.

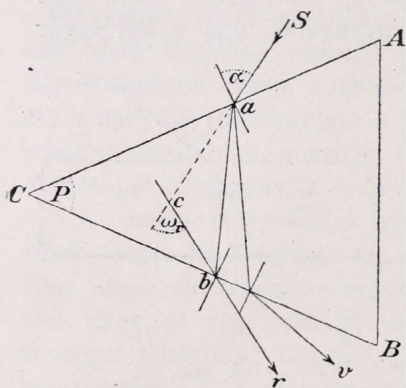
1. A fény útja párhuzamos síklapokkal határolt, ú. n. plánparallel-lemezen keresztül (5. rajz).

A lemezbe való belépés után a fény a már említett (29. lap) módon szórást szenved. Vörös és ibolya fénysugárnak más-más lévén a törésmutatója, szétválnak és külön utakon haladnak. Mikor a második határlaphoz érnek, a belső beesésszögek egyenlők az első lap (belső) kilépésszögeivel. Mikor a fénysugarak most a második felületen át ismét a levegőbe lépnek, ugyanazon szög alatt teszik ezt, mint a mely alatt az első felületbe beléptek. A főkülönbség az, hogy míg eredetileg egy sugárba voltak egyesítve, most különválva párhuzamosan haladnak egymás mellett. Nem nagyon vastag lemeznél igen közel vannak egymáshoz, úgy hogy egyszerre érkeznek a szembe s ott egyesítettnek, mintha



végtelen távolban levő pontból érkeznének. A színekre való szétbontás ilyenkor észreveghetetlen. Azonkívül a két sugár a belépő sugárhoz képest el van tolva; ezért ilyen plánpárhuzal-lemezen keresztül a tárgyakat eltolva látjuk. Ha a sugarak merőlegesen érik a lemezt, akkor természetesen semmiféle észrevehető hatás sem észlelhető, mindössze a tárgyból jövő fénysugár mérhetetlenül kicsiny késéssel érkezik.

2. *A fény útja üveghasábon keresztül* (6. rajz). Az üveghasáb sík lapjai legyenek  $CA$  és  $CB$ ; ezek a  $P$  törésszöget zárják be. Az elülső  $CA$  lapon  $\alpha$  az  $S$  sugár belépésszöge.



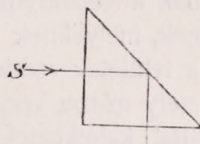
6. rajz.

Ha a vörös fényt tekintjük, akkor  $ab$  a vörösfény útja a prizmán belül,  $br$  a prizmából kilépő vörös sugár.  $\omega_r$  a prizmába belépő és a prizmából kilépő sugár alkotta szög, az ú. n. eltérítés szöge. Ibolyaszínű fénynél  $v$  a prizmából kilépő sugár, a mely, a miként már tudjuk, más úton halad, mint a vörös sugár, mert törésmutatója nagyobb. Ebből az okból az ibolyasugár eltérítésszöge és kilépésszöge a prizmából nagyobb, mint a vörös sugaré.

A szóródás szöge a két eltérítésszög különbsége. A prizmában való fénytörésnek nevezetes tulajdonsága az, hogy az eltérítés szöge minimumértéket vehet fel. A sugármenet geometriai viszonyainak tanulmányozása szerint e szög akkor a lehető legkisebb, ha a prizmába való belépés és a belőle való kilépés szöge egymással egyenlők, úgy hogy a sugár a prizma belsejében párhuzamosan halad az  $AB$  oldallal. Miként később látni fogjuk, a sugárnak ez a szimmetriás útja különös előnyöket nyújt, ezért a gyakorlatban sokszor alkalmazzák.

*A sugarak útja teljesen visszaverő prizmán keresztül.* A törés törvényéből közvetlenül következik, hogy sűrűbb közegbe való belépéskor, a mikor a törésmutató nagyobb 1-nél, a törés szöge kisebb, mint a beesés szöge. A beesés szögének lehető legnagyobb értéke  $90^\circ$ ; ilyenkor a sugár a határlappal párhuzamosan lépne be.

Koronaüvegénél a törésmutató közel  $1.53$ , ezért ha a belépés szöge  $90^\circ$ , a kilépésnek úgynevezett határszöge  $41^\circ$ . Ha most azonban valamely fénysugár a prizmából kilépne, akkor  $41^\circ$  belső beesésszögnél a prizmából kilépő sugárnak a prizma határlapját kellene súrolnia. Ha tehát az üvegen belül a belépés szöge  $41^\circ$ -nál nagyobb, akkor a sugár az üvegből ki sem léphet. A sugár ekkor ugyanazon szög alatt visszaveretik, más szóval a különben átlátszó határlap úgy hat, mint valami teljesen visszaverő tükör. Ezt a tulajdonságot gyakran arra használják, hogy sugarakat valóságos tükör nélkül útjuktól eltérítsenek és pedig rendszeren derékszöggel. Erre a célra elegendő a sugarak útjába egy derékszögű egyenlő oldalú prizmát közbeiktatni olyanformán, mint azt a



7. rajz.

7. rajz mutatja. Az  $S$  sugár vízszintesen lép be és függőlegesen lefelé verődik vissza. Diszperzió itt nem létesül, mert a sugár a határlapokra merőlegesen esik be és lép ki. Minthogy a törésmutató vörös és ibolya színre különböző, azért a teljes visszaverődés határszöge a két színre nézve más és más. A különbség azonban csekély és a derékszögű egyenlő oldalú prizmánál, a hol a visszaverődés szöge  $45^\circ$ , nem jön tekintetbe.

A teljesen visszaverő prizmát gyakran optikai képek megfordítására használják, s ilyenkor megfordító vagy reverziós prizmának szokás nevezni. Erre a célra a prizmát úgy helyezzük a fénysugárnyalábhöz képest, hogy ez a prizma átfogójával (a legnagyobb lappal) párhuzamos legyen. A sugár útját a 8. rajz jelzi. Az átfogón való teljes visszaverődés után a sugár a belépés irányával párhuzamosan lép ki a második befogóból. A két befogón (a prizma kisebb lapjai) való törés következtében keletkező szóródások egymással ellentettek és ezért egymást kölcsönösen megszüntetik, úgy hogy a fénysugár szétbontása elmarad. De a visszaverődés a kép megfordítását vonja maga után, még pedig oly módon, hogy ha a prizmát a sugár körül mint tengely körül  $90^\circ$ -al forgatjuk, akkor a kép  $180^\circ$ -kal fordul el; ez pedig a teljes megfordítás. Ha a prizmát  $180^\circ$ -kal forgatjuk el, akkor a kép egy teljes forgást tett meg, azaz eredeti helyzetébe tért vissza. Ha távcsőnek vagy mikroszkópnak szemlencséje előtt alkalmazunk



8. rajz.



ily prizmat, akkor ennek forgatásával a képeknek tetszésszerű helyezetet adhatunk.

4. *A sugarak útja optikai lencséken keresztül.* A sugarak útját eddig csak olyan közegekben vizsgáltuk, a melyeknek határlapjai síkok voltak. Ebben az esetben az utat aránylag igen egyszerűen lehet megszerkeszteni vagy kiszámítani. Sokkal bonyolultabbak a viszonyok, ha a fénysugarak útjába oly közegek kerülnek, melyeknek határlapjai görbe felszínűek. A gyakorlatban ezek a felületek rendszeren úgynevezett forgásfelületek, a melyek valamely görbe vonalnak (rendszeren körívnek) tengely körüli forgása által keletkeztek; a most említett tengelyt optikai szimmetria-tengelynek lehetne nevezni. Az olyan üvegdarabokat, a melyeket két ilyen forgásfelület (rendszeren gömbfelületek) határol, optikai lencsének nevezik. Majdnem minden optikai műszernél szereplő, rendkívül fontos feladatuk abban áll, hogy az egy fénypontból kiinduló sugarakat ismét egyetlen pontban, a képpontban egyesítsék. De már annak a látszólag egyszerű feladatnak a megoldása is, a mely azt követeli, hogy üvegdarabot két oly határfelülettel lássunk el, a melyek által az előbbi föltétel teljesül, még pedig egyelőre csupán egynemű, pl. vörös fénysugár számára, rendkívüli elméleti és gyakorlati nehézségekkel jár. A gyakorlati nehézségek közül kiemeljük azt, a mely felmerül, midőn tetszésszerű forgásfelületeket kell a szükséges pontossággal előállítani. Aránylag egyszerűen csak a gömbfelületek készíthetők, s egyelőre csak ezeknek alkalmazása jön itt szóba. De ezekkel a fentebb jelzett feladat csak közelítőleg oldható meg, ha bizonyos föltételek teljesítve vannak:

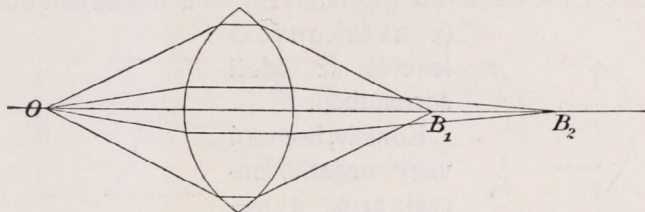
1. A szögeknek, a melyek alatt a sugarak a lencsére esnek, lehetőleg kicsinyeknek kell lenniök.

2. Szükséges, hogy a lencsék vastagsága szintén lehetőleg csekély legyen.

3. Több lencsét kell egymással kombinálni, és ha különböző hullámhosszúságú sugaraknak lehetőleg jó egyesítését akarjuk elérni, a különböző lencsékhez különböző törésmutatójú üvegfajtákat kell választani.

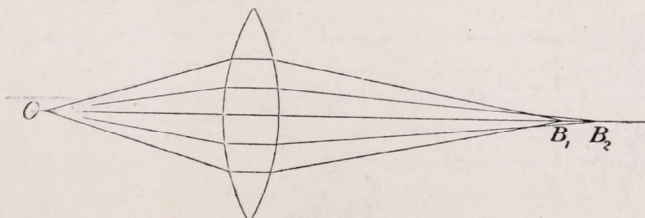
Egyelőre itt csak az 1. és 2. föltétellel kell foglalkoznunk, a melyeknek oka, különösen az elsőé, a 9. és 10. rajzból világosan kiderül.

A 9. rajzban vastag, erősen görbült lencsével van dolgunk. Az  $O$  világító pontból jövő sugarak a lencse szélét nagy szögek alatt találják. Ezek a sugarak a  $B_1$  pontban egyesülnek képpé, míg azok a sugarak, a melyek a tengelyhez közel kisebb szögek alatt esnek be, a távolabbi  $B_2$  képpontban egyesülnek. Az  $O$ -ból a lencsére eső összes sugarak tehát egyáltalán nem egyesülnek.



9. rajz.

egyetlen képpontban, hanem a  $B_1 B_2$  köz mentén oszlanak el. Az egyesítésnek ezt a tökéletlenségét *gömbi eltérésnek* nevezik, mert a lencse gömbfelületekkel van határolva, nem pedig matematikailag helyes, de bonyolult alakú felületekkel. A 10. rajzban a lencse vékonyabb, a határfelületek görbülete kisebb, a szélső sugarak kisebb szögek alatt esnek be. Ezért a gömbi eltérés vagy a  $B_1 B_2$  távolság lényegesen kisebb, az  $O$  pont leképzése tehát jobb.



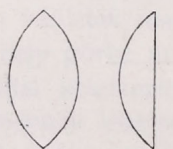
10. rajz.

A következőkben föltesszük, hogy a gömbi eltérés gyakorlatilag teljesen eltűnik, bár a rajzok világossága érdekében a szögeket mindig túlnagyoknak kell feltüntetnünk. Egyébiránt még egyszer ráutalunk arra, hogy a fénynek gömbfelületeken való áthatolásánál mindig rendkívül bonyolult viszonyokkal van dolgunk és hogy ezért csak a legegyszerűbb közelítéseket fogjuk használni, a melyek az általános megértéshez elégségesek.

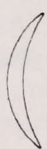


5. Az egyszerű lencsék különböző fajtái. Domború (konvex) vagy pozitív lencséknek azokat nevezzük, a melyek középen vastagabbak, mint a szélükön. Az egyik felületnek tehát domborúnak kell lennie, a másik lehet szintén domború vagy sík, sőt homorú is, csak a homorú görbületnek kell kisebbnek lennie a domború görbületnél. A 11. rajz mutatja a kettősen domború (bikonvex), a sík domború (plánkonvex) és a homorúan domború

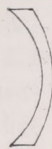
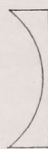
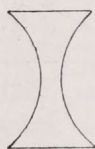
(konkávkonvex) lencsét az adott sorrendben.



11. rajz.



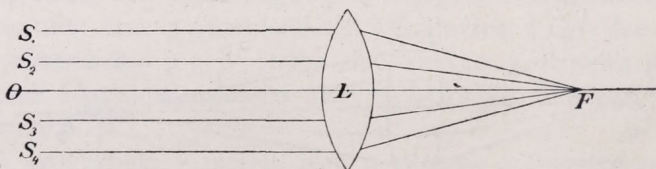
Konkáv, homorú vagy negatív lencsék azok, a melyeknek közepe vékonyabb, mint a



12. rajz.

széle. Itt is megkülönböztetünk kettősen homorú (bikonkáv), sík homorú (plánkonkáv) és domborúan homorú (konvexkonkáv) lencségeket.

6. A pontnak pozitív lencsék létesítette képe a fő- vagy optikai tengelyen egynemű sugarak esetében. Ha a világító  $O$  pont végtelen távolságban van, akkor a tőle kiinduló és a lencsét érő  $S_1 S_2 \dots$  sugarak egymással párhuzamosak és az  $F$  képpontban

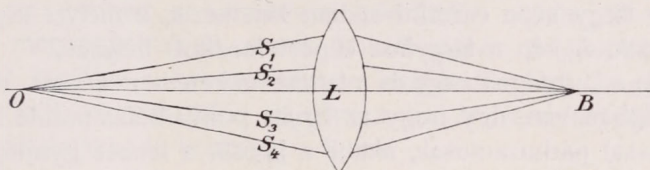


13. rajz.

egyesülnek. Ha  $L$  jelenti a lencse középpontját, akkor ebben az esetben az  $LF$  távolságot a lencse gyújtótávolságának,  $F$ -et pedig gyújtópontnak nevezzük. A gyújtópont elnevezés onnét származik, hogy a napsugarak, a melyek a Nap nagy távolságánál fogva közel párhuzamosan érkeznek, ebben a pontban egyesülnek és ott magas hőfokot idéznek elő. Ha valamely lencse gyújtótávolságát meghatároztuk, akkor a képpont távolságát a fényforrás minden más tetszőleges távolsága esetében könnyen kiszámíthatjuk.

A 14. rajzon pl.  $LO$  a fénylő pont távolsága,  $LB$  a képpont távolsága.

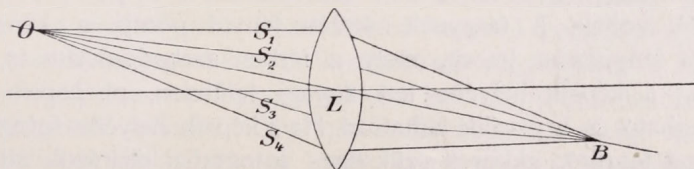
Itt rendkívül fontos, egészen általános érvényű optikai tétel kell megemlítenünk: minden optikai szerkesztésnél a sugarak terjedésiránya közömbös; minden változatlan maradna, ha a sugarak az ellenkező irányban terjednének, azaz ha a fényforrást és a



14. rajz.

képpontot fölcserélnők. Ha pl. a 13. rajzon a sugarak az  $F$  gyújtópontból indulnak ki, akkor a lencséből mint egymással párhuzamos sugarak lépnek ki.

7. *A pontnak pozitív lencsék létesítette képe a melléktengelyeken, egynemű sugarak esetében. Nagyobb kiterjedésű tárgyak képe.* Ha a világító  $O$  pont nem az optikai vagy főtengelyen van, hanem ezen kívül fekszik, akkor a 6. pontban említett szerkesztés itt is



15. rajz.

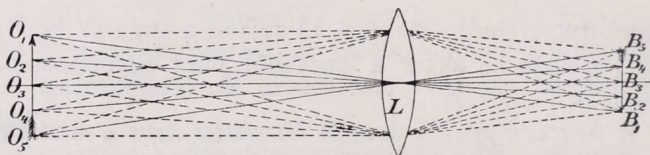
érvényes, hacsak a főtengelyt a melléktengellyel helyettesítjük, a melyet úgy kapunk, ha  $O$ -n és  $L$ -en át egyenest fektetünk (15. rajz). Az  $LB$  képtávolság éppen úgy kiszámítható, mint a 6. pontban említettük. Ennek alapján kissé behatóbb megfontolással azonnal megkaphatjuk valamely kiterjedt tárgynak pozitív lencse által előidézett képét, ha a tárgy minden egyes pontjához a hozzá tartozó melléktengelyt meghúzzuk és rajta a képpontot megszerkesztjük.



A 16. rajz egy nyíl képének a szerkesztését tünteti fel az 5. pontnak a felhasználásával. A lencse  $L$  középpontján átmenő melléktengelyeket folytonos vonalak, a fénysugarakat pedig szakadozott vonalak jelzik, ezekből a tárgynak minden  $O$  pontja számára csak kettő van feltüntetve, a melyek mind a lencsének ugyanazon helyein mennek keresztül. A többi sugarak természetesen ezek között fekszenek.

A tárgy képe eszerint síkban keletkezik, a melyet képsíknak nevezünk. A kép a tárgyhoz képest fordított helyzetű.

Ha a tárgy igen nagy és a lencse méreteihez képest végtelen távolságban van, úgy hogy az egyes pontjaiból kiinduló sugarak egymással párhuzamosak, akkor a képsík a lencse gyújtópontján megy keresztül és ebben az esetben gyújtósík a neve.

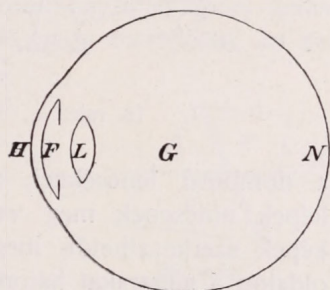


16. rajz.

A pontoknak és a kiterjedt tárgyaknak képei egyaránt olyan sugaraknak a találkozása által keletkeznek, a melyek előbb szét-hajlók voltak. A tárgynak minden fénylő pontja a képsíkban ismét fénypontot létesít, mely a térben szabadon látható, vagy pedig a képsík helyébe tett anyagi felületen, pl. papirosra felfogható és így válik láthatóvá. Ha a képsík helyébe fotografus-lemezt teszünk, akkor a szükséges fotografiai eljárások alkalmazása után a tárgy fotografiáját kapjuk. Ezért a pozitív vagy domború lencsék által előidézett képeket valós (reális), azaz valóban létező képeknek nevezzük.

8. *Valós képek az emberi szemben.* Az emberi szem optikai részéből és fény iránt érzékeny felületből, a retinából áll, a melyen valós képek keletkeznek (17. rajz). A szem optikai része nem csupán egyszerű lencséből, hanem több, különböző törésmutatójú részből áll; ezek: legelől az erősen domború és átlátszó szaruhártya  $H$ , azután az úgynevezett csarnokvíz  $F$ , a lencse  $L$  és az üvegtest  $G$ . A rétegekből összetett lencsének domborúságát és

ezzel gyújtótávolságát erre a célra való külön izmok többé vagy kevésbé megváltoztathatják (alkalmazkodó képesség). A 6. pontban tett megfontolásokból következik, hogy a képtávolság annál nagyobb, mennél közelebb van a tárgy a lencséhez. Ha tehát nagyobb tárgytávolság mellett a kép pontosan a reczehártyára esnék, akkor közeli tárgyak képe a reczehártya mögé kerülne s ehhez képest a reczehártyán a kép elmosódott lenne. De ebben az esetben a szemlencse görbületét a vele összefüggő izmok megnagyobbítják, ennek következtében a gyújtótávolság s ezzel karöltve a képtávolság is kisebbedik, úgy hogy most már közeli tárgyak képe is élesen az  $N$  reczehártyára esik. Ez az alkalmazkodó képesség a korral gyöngül. Az eredetileg rendes, jól látó szemű ember ekkor ugyan a távolba még mindig nagyon jól lát, de nem a közelbe (távollátás). Közellátás akkor áll be, ha a szemfelületeknek túl nagy görbülete következtében távoli tárgyak képe is mindig a reczehártya elé kerül. Egész közeli tárgyak képe ekkor pontosan a reczehártyára esik; a közellátók a közeli tárgyakat jól látják.

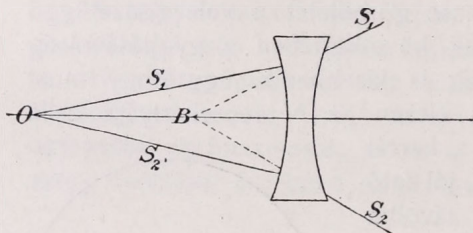


17. rajz.

A szem hibáit a szem elé tett lencsékkel (szemüveg, pápaszem) lehet ellensúlyozni. Közellátóknál homorú lencsékkel egyenlítjük ki a túlerős görbületet, távollátóknál megfordítva a közeli látás számára a kicsiny görbületet kell domború lencsékkel mesterségesen növelni. Oly emberek, kiknek szürke hályog következtében átlátszatlaná vált szemlencsáját eltávolították, helyette erősen domború lencsével ellátott pápaszemet kapnak a szemük elé és ezzel aztán ismét jól láthatnak. A rendes szem akkor látja a legjobban a tárgyakat, ha tőlük 20–25 centiméternyire van s ez az ú. n. rendes látástávolság; ennek nagysága különböző embereknél különböző, közellátóknál kicsiny, csak néhány centiméter, távollátóknál végtelen nagy is lehet. *Minden optikai műszert akként kell szerkeszteni, hogy segítségével a megtekintendő tárgy vagy annak képe a rendes látástávolságba kerüljön,* azaz minden optikai műszer készítésénél tekintetbe kell venni azt, hogy maga a szem is mindig fontos alkotórésze a műszernek.



9. *Negatív vagy homorú lencsék létesítette pontszerű kép.* A világító  $O$  pontból jövő (18. rajz) már széttartó  $S_1$  és  $S_2$  sugarak a homorú lencsén való átmenet után még erősebben széttartanak, tehát nem találkoznak ismét egy pontban. De hátrafelé való meghosszabbításuk a  $B$  ponthoz vezet s ennél fogva úgy viselkednek, mintha valóban ebből a  $B$  pontból indultak volna ki. Ezt a való-



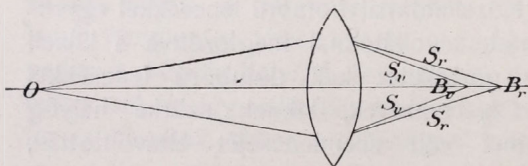
18. rajz.

ságban meg nem levő  $B$  képpontot virtuális képpontnak nevezzük. Párhuzamosan érkező sugaraknál virtuális gyújtópont keletkezik. Ugyanez érvényes a melléktengelyekre nézve is, s egyáltalán tárgyak leképzésénél is az összes viszonyok ugyanazok maradnak, mint

a domború lencséknél, azzal az egy különbséggel, hogy a képek nincsenek meg valóságosan, hanem csak mint virtuális képek szerkeszthetők meg olyanformán, hogy a tárgy felé eső

oldalán a sugarakat hátrafelé meghosszabbítjuk.

10. *A kép keletkezése különmemű sugarak esetében.* A különmemű sugarak létesítette kép keletkezését rövidség kedvéért csak domború lencsék esetében fogjuk tárgyalni.

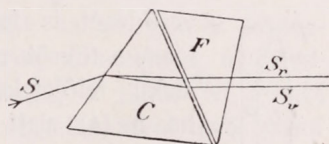


19. rajz.

vörös és ibolya színű sugarak a lencsében, éppen úgy, mint a prizmaiban, különbözőképpen töretnek, az ibolya színűek ( $S_v$ ) valamivel erősebben, mint a vörösek ( $S_r$ ). Ennél fogva a vörös színű sugarak a  $Br$  képpontban, az ibolya színűek a  $B_v$  képpontban egyesülnek, a többiek pedig e kettő közé esnek. A pontszerű  $O$  tárgy képe tehát nem egyetlen pont többé, hanem a pontoknak egészsora. Az eredmény hasonló a gömbi eltéréshez, azzal a kis különbséggel, hogy a különböző pontok különböző színűek. Ha a vörös pont a képsíkon mint pont jelenik meg, akkor ez egyidejűleg az ibolyaszín pont számára nem történik. Nagyobb

terjedelmű tárgy képeinek keletkezésekor például a vörös kép élesnek, az ibolya színű pedig elmosódottnak látszik. Ezért oly képet kapunk, melynek szélei nem látszanak élesen s színesek, hasonlóan, bár nem oly nagy mértékben, mint mikor valamely tárgyat üveghasábban keresztül szemlélünk. A színi eltérés ugyanolyan föltételek között csökken, mint a gömbi eltérés, tehát gyengén görbült vékony lencsék alkalmazásánál. Ezért régebben a csillagászati távcsövekhez olyan lencsét használtak, melyeknek átmérője két vagy három hüvelyk, gyújtótávolságuk pedig száz lábnyi s még azonfelül volt.

11. *Színtelenítő (achromatikus) lencsék.* Két különböző törésű üvegfajtából készült két lencsének kombinációjával oly lencsét lehet előállítani, melynél a színi eltérés nagy mértékben, ha nem is teljesen, elenyészik. Két lencse kombinációjával egyszersmind a gömbi eltérés is majdnem teljesen megszüntethető, úgy hogy az achromatikus lencsék létesítette kép hasonlíthatatlanul jobb a közönséges egyszerű lencsékkel elérhetőnél. Az összes optikai műszereket, melyektől éles képet kívánunk, ma már tisztán achromatikus lencsékkel szokás fölszerelni. A színtelenítés elvét két prizma kombinációján lehet könnyen megmagyarázni.



20. rajz.

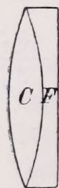
A  $C$  prizmának (20. rajz), mely pl. könnyű, aránylag gyengéntörő koronaüvegből készült, a vörös- és ibolyaszínű sugarak számára, mint tudjuk, különböző törésmutatója s ennél fogva egy bizonyos szórásszöge van. Az  $F$  prizma ellenben nehéz flintüvegből való, melynek törésmutatói sokkal nagyobbak, úgy hogy egyenlő törésszög mellett a szórás szöge közel kétszer akkora, mint az első prizmánál. Ha most a második prizma törésszögét csak felényinek vesszük, akkor szórása is felére apad, azaz ugyanakkora lesz, mint az első prizma szórásszöge. Ha most úgy tesszük össze a két prizmát, hogy az  $F$  törőéle a  $C$  alapja felé fekszik, akkor  $C$ -hez viszonyítva az  $F$  szórásszöge ellenkező értelemben hat, másszóval a két szórás egymást kölcsönösen megszünteti, a vörös- és ibolyaszínű sugarak egymással párhuzamosan lépnek ki, akár csak plánparallel-lemezből. A színek ismét



egyesítve vannak, de az eltérés csak félakkora, mint az, a mely a C prizmától egyedül származik.

Ez az elv, lencsékre alkalmazva, azt mondja: tegyük össze a bikonvex koronaüveglencsét plánkonkáv flintüveglencsével, úgy a mint azt a 21. rajz mutatja, akkor a különböző színű sugarak ugyanabban a képpontban fognak egyesülni, mely azonban körülbelül kétszer olyan távolra esik, mint ha csak az egyszerű koronaüveglencsét használtuk volna. Hangsúlyoznunk kell, hogy mindez csak közelítőleg helyes; később rá fogunk mutatni arra, hogy a színtelenítő lencse megvalósításának ügye a valóságban mennyivel bonyolultabb.

12. *A sugarak visszaverődése görbe tükröfelületekről.* Arra, hogy pontok vagy kiterjedt tárgyak képét megkapjuk, fénytörés helyett sugaraknak görbe tükröfelületekről való visszaverődését is fel lehet használni. A lencsékhez hasonlóan, a tükrök esetében is, a sokkal kevésbé bonyolultalakú felületeket gömbfelületekkel lehet helyettesíteni, ha a (4) alatt említett föltételeket lehetőleg teljesítjük. A gömbi eltérés itt is nyilvánul, de a színi eltérés teljesen eltűnik, mert a visszaverődés szöge minden szín számára



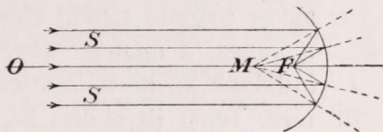
21. rajz. pontosan egyenlő a beesés szögével. A lencsékkel ellentétben ez a tükröknek rendkívüli előnyük, de a gyakorlatban viszont a tükrök alkalmazása más nagy hátrányokkal jár. Mint-hogy a tükrökről való teljes visszaverődésnél a törésmutató nem szerepel, azért itt még az a további egyszerűsítés nyilvánul, hogy a gyújtótávolság és a tükrözőfelület sugara rendkívül egyszerű összefüggésben áll egymással. A domború és homorú közötti ellentét itt is megmarad, éppen úgy, mint a lencséknél, de értelme az ellenkezőbe csap át: a homorú tükrök pozitívok, a domborúak pedig negatívok.

Parabolás tükrök, azaz olyanok, melyeknek határfelülete parabolának tengelye körüli forgása által keletkezettnek gondolható, a főtengelyhez párhuzamosan beeső sugarakat valóban egy pontban egyesítik, tehát gömbi eltéréstől mentesek. Minthogy a színi eltérés is hiányzik, miként már említettük, azért az ily tükrök a kép előállítására szolgáló optikai műszerek eszményképei. Újabb időben még nagy tükröknél is sikerült azokat a nagy technikai nehézségket legyőzni, a melyek parabolás tükrök készítésének

útjában állanak. Az ily tükrökkel különösen az ég fotografálása alkalmával nagyon szép eredményeket értek el.

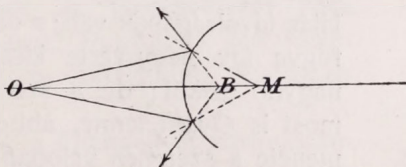
13. *A pozitív vagy homorú (gömbi) tükrök létesítette kép.* Az  $S$  sugarak egymással és az optikai tengellyel párhuzamosan haladva érkeznek (22. rajz), mintha végtelen távolságban levő világító pontból indultak volna ki. Azokat a pontokat, a hol a fénysugarak a tükröt érik, kössük össze a tükör középpontjával.

Ezek a vonalak a gömb sugarai s így a tükröfelületre merőlegesek lévén, ezek a beesési merőlegesek. A fénysugarak a beesés szögével egyenlő szög alatt verődnek vissza, s a szerkesztés azt mutatja, hogy ezek mind ugyanabban az  $F$  pontban, a gyújtópontban talál-



22. rajz.

koznak, mely pontosan középpütt fekszik az  $M$  gömbi középpont és a tükörnek ama pontja között, a melyben a főtengely metszi. A gyújtótávolság tehát mindig a tükör fél gömbi sugarával egyenlő. Ha a sugarak nem végtelen távol levő pontból jönnek, a kép keletkezése a képpontban ugyanezen elvek alapján történik; meghúzzuk a megfelelő gömbsugarat mint beesési merőleget, a beesési szöggel egyenlő visszaverődési szög segítségével megkaphatjuk a visszavert fénysugarat; a visszavert sugarak a képpontban egyesülnek. A melléktengelyekben fekvő pontszerű tárgyak képét hasonló módon szerkeszthetjük meg. A homorú tükrök valós és, a lencsékhez hasonlóan, fordított képeket létesítenek.



23. rajz.

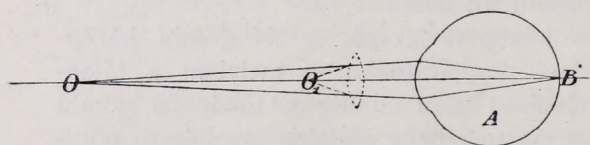
14. *Negatív vagy domború gömbtükrök létesítette kép.* A sugarak a beesés szögével egyenlő szög alatt verődnek vissza (23. rajz).

Az  $O$  pontból széttartóan indulnak ki s a visszaverődés után még erősebben széttartanak. A visszavert sugaraknak meghosszabbítása hátrafelé a  $B$  látszólagos képpontot adja. Párhuzamos sugarak a látszólagos gyújtópontban egyesülnek.

15. *A legegyszerűbb optikai műszerek* akként létesülnek, hogy lencsét vagy tükröt teszünk a szem elé. A szem optikai része itt egyszerűen mint domború lencse szerepel.



A *nagyítóüveg* valamennyi optikai műszer között a legegyszerűbb: domború lencséből áll, melyet szemünk elé tartunk. A rendszeren látó szem 20 centiméternyi távolságban levő tárgyat lát a legélesebben. Bármily optikai részek legyenek is a szem előtt, a sugarak menetének végül mégis olyanak kell lennie, hogy az egy ponthoz tartozó sugarak akként lépjenek a szembe, mintha 20 centiméternyi távolságban levő pontból indulnának ki. Tegyük fel, hogy a 24. rajzon az  $O$  pont a tiszta látás távolságában van, akkor nagyító nélkül éles képe a reczehártyán  $B$ -ben létesül. De ugyanezt a menetet követik azok a sugarak is, a melyek  $O_1$ -ből indulnak ki, ha a (pontosítottan rajzolt) nagyítóüveg van útjukba téve. Tehát itt is éles kép keletkezik, bár  $O_1$  sokkal közelebb van a szemhez, mint  $O$ . Gondoljuk most, hogy  $O$  és  $O_1$ -ben pontok



24. rajz.

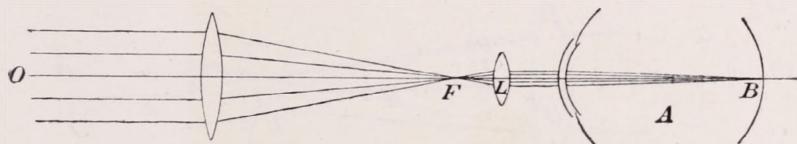
helyett tárgyak vannak, akkor ezeknek éles képe hasonlóan létesül a reczehártyán. De a kép természetesen annál nagyobb, mennél közelebb van a tárgy

a szemhez. Ha például az  $O_1$ -ben levő tárgy 5 cm-nyire van a szemtől, akkor négyszer akkorának látszik, mint mikor a tiszta látás távolságában van: a nagyítóüveg négyszeresen nagyít. Ennél fogva így négyszerte kisebb részleteket lehet megismerni, mint nagyító nélkül; de a szemnek az a benyomása, mintha a tárgy most is  $O$ -ban lenne, abból az egyszerű okból, mert a sugarak menete a szemben valóban pontosan olyan is.

A nagyítóüveget nagyon sok esetben használják, még pedig kicsiny tárgyak pontosabb megismerésére, vagy valamely összetettebb optikai műszernek optikai végreszéül; az utóbbi esetben a nagyítóüveget okulárnak vagy szemlencsének nevezik. A továbbiak megértése céljából meg kell jegyeznünk, hogy a sugaraknak minden körülmények között mindig úgy kell a szembe érniök, mintha a tiszta látás távolságában levő pontból indultak volna ki. Arra figyelmeztetünk még egyszer, hogy a tiszta látás távolsága egyéni s néhány centiméter (közellátóknál) és a végtelen között (távollátóknál) váltakozhatik. Ha a szem hibáját nem egyenlítjük ki pápaszemmel úgy, hogy a szem és pápaszem együttes

rendszerére nézve a rendes látástávolság 20 centimétert érjen el, akkor a megsejmléndő tárgyaknak a szentől való távolságát még nagyító használata mellett is addig kell a rendes helyzettel szemben javítani, a míg a tárgy a szem számára látszólag az egyéni látástávolságban van. Ez a körülmény abban nyilvánul, hogy valamely optikai eszköznel általában minden megfigyelőnek külön be kell igazítani a maga számára az okulárt, ha éles képet akar látni.

16. A csillagászati távcső. A csillagászati távcsővel azt akarjuk elérni, hogy valamely nagyon messze vagy végtelen távolságban levő tárgy képét nagyítóüvegen át szemlélhessük. A távcső ennél fogva áll domború lencséből, vagy homorú tükröböl, a mely a valódi képet létesíti, és az okulárnak nevezett nagyítóból, a melyen át a képet szemléljük. A szerint, a mint a kép létesítéséhez lencsét



25. rajz.

vagy tükröt használunk, a mint tehát fénytörés vagy fényvisszaverődés szerepel, a távcsövet *refraktor*-nak vagy *reflektor*-nak nevezzük. Rendesen azonban ezeket az elnevezéseket csak nagyobb műszerekre szokás alkalmazni. Pontszerű kép keletkezése esetében a sugarak menete a csillagászati távcsőben a következő (25. rajz.):

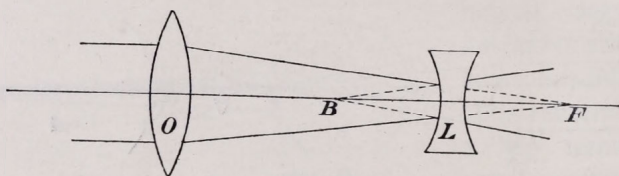
A nagy távolságból egymással és a főtengellyel párhuzamosan érkező és az elülső, úgynevezett tárgylencsére eső sugarak az  $F$  gyújtópontban futnak össze; azután  $L$  okulárra esnek, mely olyan távolságban van az  $F$ -től, hogy a rajta való átmenet után úgy haladnak, mintha az éles látástávolság pontjából jönnének. Az  $A$  szem akkor a végtelen messze levő pontot látszólag az éles látástávolságban látja. A 7. pont alapján világos, hogy miként kell valamely pont képét a melléktengelyen és így valamely kiterjedt tárgy képét a gyújtósíkban megszerkeszteni. Minthogy a valós kép a tárgy fordítottja, azért a csillagászati távcsőben is minden kép fordítva látszik, a fönt és lent fel vannak cserélve. Ha tárgylencse helyett homorú tükröt használunk a kép elő-



állítására, akkor a kép a távcsőben (refraktorban) tükörszerűen fordított.

(A távcsőről szóló részletesebb leírást lásd az égi fotográfiáról szóló fejezetben).

17. *A földi távcső.* Égitestek vizsgálatánál a csillagászati távcsőben keletkező képmegfordítás nem hátráltatja a megfigyelést, de ha földi tárgyakat szemlélünk, akkor rendkívül zavaróan hat, mert szokva vagyunk, hogy azokat mindig egész határozott, természetes helyzetükben lássuk. Ezért a földi távcsőnél a gyújtósík mögött két lensét iktatunk közbe, melyek az okulárral kapcsolatban az első képről egy másodikat létesítenek; minthogy ezzel ismét képmegfordítás jár, azért a második kép, vagyis az, a melyet szemlélünk, most már helyesen áll.



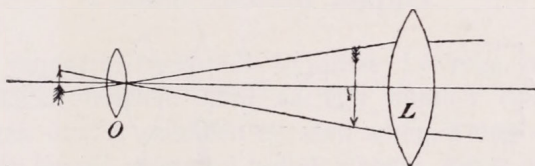
26. rajz.

18. *A hollandiai távcső.* A hollandiai távcsőnél a negatív lensék tulajdonságait használjuk fel a tárgy nem fordított, látszólagos képének a szemlélésére. A szemlencsét a sugarak útjába helyezzük, mielőtt a gyújtósíkban egyesülnének; látszólagos gyújtótávolságának jóval rövidebbnek kell lennie, mint a mekkora az éleslátás távolsága.

Az  $O$  tárgylencsétől jövő összetartó sugarak a homorú  $L$  lensén való átmenet után széttartókká válnak, úgy hogy látszólag a virtuális  $B$  pontból indulnak ki (26. rajz). A szemnek tehát a  $B$ -ben levő látszólagos kép természetes helyzetében látszik. Minthogy szerkezete következtében a hollandiai távcső sokkal rövidebb, mint a földi távcső, azért kényelmi okokból különösen színházi és tábori messzelátónak használják.

19. *Az összetett mikroszkóp* (27. rajz). Ha kicsiny tárgyat akarunk nagyobb nagyítással megvizsgálni, mint a milyen egyszerű nagyító használata mellett lehetséges, akkor erre a célra két lensét kell kombinálni. Az elülső, erősgörbületű, kicsiny lencse,

a tárgylencse, egészen közel van a tárgyhoz, oly távolságban, mely az egyszerű gyújtótávolság és ennek kétszerese között változhatik. Ebben az esetben a tárgynál nagyobb valós kép keletkezik. Ezt a valós képet nagyítón (okulár) át szemléljük s így ismét nagyítjuk. Adott tárgy- és szemlencsével a mikroszkóp nagyítása elméletileg határtalan. Mennél közelebb van t. i. a tárgy a tárgylencse gyújtópontjához, annál nagyobb távolságban keletkezik a kép s ezzel együtt annál inkább nagyítja a képet a tárgylencse. A gyakorlatban azonban hamar érünk el bizonyos határhoz, a melyet a lencsék jósága és a mikroszkóp hossza szabnak meg. Az a föltétel, hogy a tárgy az egyszerű és a kétszeres gyújtótávolság között legyen elhelyezve, azért szükséges, mert akkor a kép nagyobb a tárgynál. Ha a tárgy messzebb fekszik



27. rajz.

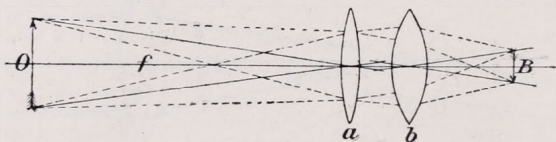
a kétszeres gyújtótávolságnál, akkor a kép kisebb a tárgynál s ekkor tulajdonképpen a tárgyat kellene az okulárral szemlélni s nem a képét.

20. *A kollimáció elve.* A 6. pontban kimutattuk, hogy pozitív lencse vagy pozitív tükör a párhuzamosan érkező sugárkévét a gyújtópontban egyesíti; megfordítva a gyújtópontból szétartóan kiinduló sugarak a lencsét vagy tükröt mint párhuzamos sugarak hagyják el. Az utóbbi körülményt sokszor felhasználják, mikor valamely optikai műszerben, pl. spektroszkópban párhuzamosan haladó sugarakra van szükség. Kollimátorlencsének nevezik az oly lencsét, mely fénysugaraknak párhuzamossá tételére szolgál. A kollimátorlencsét a sugarak úgy hagyják el, mintha végtelen távolságból jönnének. Ha tehát végtelenre beállított távcsővel nézünk a kollimátorlencsén keresztül, akkor az ennek gyújtópontjában levő tárgyat élesen látjuk. Minden fordítva alkalmazott távcső egyszersmind kollimátornak használható. Ha két távcsövet, *a*-t és *b*-t, a melyek pl. a gyújtósíkból levő fonál-



keresztel vannak ellátva, tárgylencséikkel egymás felé fordítunk, akkor  $a$ -n keresztül a  $b$  fonalkeresztjét látjuk,  $b$ -n keresztül pedig az  $a$  fonalkeresztjét. Minthogy természetesen a távcső saját fonalkeresztjét is egyidejűleg látjuk, azért a két fonalkeresztet fődésbe hozhatjuk s ezáltal oly eszközhez jutunk, a melynek segítségével két távcsövet pontosan egymásra irányíthatunk, a mi különösen spektroszkópi méréseknél nagyon fontos.

A kollimáció elvének még az ad különös fontosságot, hogy segítségével nagyításokat vagy kicsinyítéseket érhetünk el. A kép nagysága t. i. úgy viszonylik a tárgy nagyságához, mint a két távcső tárgylencséinek megfelelő gyújtótávolságai. Ha például a 28. rajzon az  $a$  tárgylencsének gyújtótávolsága  $f$ , a másik  $b$  tárgylencsée pedig az előbbinek harmadrésze, akkor az  $O$  tárgynak a



28. rajz.

$b$  tárgylencse által létesített  $B$  képe háromszor kisebb, mint a tárgy. Ha megfordítva  $B$ -t tekintjük tárgynak, akkor ennek az  $a$  lencse létesítette  $O$  képe háromszor akkora. Mindez egyszerűen kiviláglik a rajzból. Az  $O$  nyíl végpontjaiból kiinduló sugarak, a melyekből a rajzon kettő látható, az  $a$  tárgylencsét, a melynek gyújtósíkjában van az  $O$  tárgy, párhuzamosan hagyják el, még pedig párhuzamosan a nekik megfelelő melléktengelyhez. Ezek párhuzamos sugárkéve alakjában érik el a  $b$  lencsét, minek következtében ennek melléktengelyén a megfelelő gyújtótávolságban, mely az első lencse gyújtótávolságának harmadrésze, egyesülnek. Az utóbb említett melléktengely az, a mely a  $b$  lencse középpontjából indul ki, s párhuzamos az első lencsénél említett melléktengelyhez. A nyíl másik végének képe hasonló módon keletkezik, s a nyíl képe  $B$  csak harmadrésze az  $O$  nyíl valóságos hosszának. A már említett alapelvnel fogva, nevezetesen, hogy az optikában minden geometriai szerkesztésnél a fénysugárban a fényterjedés iránya közömbös, az előbbi okoskodás akkor is

helyes, ha *B*-t tekintjük tárgynak és *O*-t képnek; ebben az esetben háromszoros nagyítás létesül.

Az előbbi 20 pontban lehetőleg röviden összefoglaltuk az optikai eszközök szerkezetének főbb alapjait. Ha a későbbi fejezetekben behatóbb ilyenmű tárgyalásokra kerül a sor, elég lesz a számot idéznünk, hogy az alapfogalomról tájékozódást szerezhessünk anélkül, hogy folyton ismétlődésekbe kellene bocsátkoznunk vagy az olvasót nem mindig hozzáférhető optikai tan-  
könyvekre kellene utalnunk.

### HARMADIK FEJEZET.

## A látás élettani alapjai.

A látás rendkívül bonyolult folyamat. Lényege még éppen olyan teljesen ismeretlen, mint az élet minden nyilvánulásaé. A fénysugarak útját a szemben egészen addig, a míg a valós kép a reczehártyán létesül, pontosan tudjuk követni. Azt is tudjuk, hogy e kép keletkezése alkalmával a látóidegek számtalan idegrostjainak végeit a kép keletkezésében szereplő fényesség- és színárnyalatokhoz mértén különböző ingerek érik és hogy ezeket az ingereket az idegrostok az agyvelőnek egy határozott helyéig vezetik. Az azonban, hogy ezek az ingerek az ész tevékenységével kapcsolatban miképpen alakulnak át tudatos látássá: megismerésünk számára teljesen hozzáférhetetlen. Ám valami fontosat erre vonatkozólag mégis tudunk, s ez a tény, hogy itt olyasvalamiről van szó, a mit megszokás által tanultunk meg, nem pedig olyasmiről, a mi az emberrel már veleszületett. Ha értelmes vak ember felnőtt korában sebészi beavatkozás segítségével visszakapja látását, először nem tud »látni«, bár reczehártyáján most már éles kép keletkezik; a legegyszerűbb tárgyat, melyet tapintással azonnal felismer, nem képes szemei segítségével megismerni. Csak egyidejű körültapogatás és meg-nézés által tanulja meg lassan a valóságos látást, bár természetesen gyorsabban, mint az újszülött gyermek. Már az is rendkívül nehezebbre esik az ily látását visszanyert embernek, hogy szemeit a felismerés céljából valamely határozott tárgyra irányítsa, a mit egyébként mindenki öntudatlanul a legnagyobb könnyűséggel tud



véghezvinni. A látás gyakorlattal szerzett ügyesség, hasonlóan a mesterséghez, melyet gyakorlat nélkül senki sem tud megtanulni.

Arra nézve, hogy mit jelent a szemeknél a megszokás, könnyen lehet igen jellemző kísérletet végezni. A lencsék létesítette képek tanulmányozása alapján tudjuk, hogy a szemben is fordított kép keletkezik, de azért a tárgyakat mégsem látjuk megfordítva, mert már kezdettől fogva hozzászoktunk ehhez a megfordításhoz. De nem csupán fénynyel, hanem más ingerekkel is idézhetünk elő a szemben szubjektív fényérzeteket, pl. azzal, hogy a reczehártyára nyomást gyakorlunk. Ha sötétben körmünkkel megnyomjuk a szemgolyó szélét, a mennyire a szemüreg csontja ezt megengedi, akkor a nyomás tartama alatt kis világos foltot látunk, mely a reczehártya megnyomott helyével egyenlő. De ebben a kísérletünkben a foltot nem ott látjuk, a hol a nyomást mint gyöngye fájdalmat érezzük, hanem pontosan az ellenkező helyen, tehát az orr felé. Tehát jól tudjuk, hogy hol van a szemben az a hely, a hol a fényérzet létrejött, mégsem szabadulhatunk attól, a mit a rendes látásnál megszoktunk.

Míg minden épszemű ember megtanul látni annyira, a mennyire ezt szükségletei követelik, addig sokan nem képesek a látásban arra a bizonyos tökéletességre szert tenni, a melyet a megfigyelés művészetének neveznek, s a melyet a természetvizsgálónak, különösen pedig a csillagásznak és fizikusnak folytonos gyakorlattal kell megszerezni és megtartani; ehhez is tehetség kell, mint minden fokozottabb ügyességnek vagy művészetnek gyakorlásához. A megfigyelés művészetén értjük tárgyaknak vagy jelenségeknek megfigyelését abból a határozott célból, hogy nehezen megismerhető vagy mérhető tulajdonságokat és folyamatokat valóságos mivoltukban megismerjünk vagy megmérjünk. A megfigyelés művészetének hiánya okozza tehát a laikus oly gyakori csalódását, mikor először néz távcsövön vagy mikroszkópon keresztül. Egyszerűen nem látja azt, a mi fontos.

De a szem, bár szerkezete csodálatraméltó, mégis sok tökéletlenséget rejt magában, a melyet rendesen nem veszünk észre, mert gyermekkorunk óta megszoktuk. Tudományos megfigyeléseknél azonban gyakran zavaróan hatnak és oly csalódásokra szolgáltatnak alkalmat, a melyeknek felismerése a megfigyelés művészetéhez tartozik és a melyeknek kiküszöbölése a megfigyelések

későbbi feldolgozásának feladata. Főleg ilyenfajta hibákról és csalódásokról akarunk a következőkben szólni. De előbb néhány olyan öntudatlan folyamatról kell megemlékeznünk, melyek a rendes látásnál rendesen végbemennek, de a melyek éppen öntudatlan voltuk miatt mégis a legtöbb ember előtt ismeretlenek.

A reczehártyában a látóideg rostjai sejtekben végződnek. Ezek a sejtek kétfélék, pálczikák és csapok, a melyek közül úgy látszik a csapok a fontosabbak. A legkisebb még látható elemek méretei e sejtektől függenek, s nem gondolható olyan pontoknak élesebb szétválasztása, melyek a reczehártya csapjainál szorosabban állanak egymáshoz. A csapok vastagsága ott, a hol legsűrűbben vannak, t. i. az úgynevezett sárga foltban, 0.003 milliméter, vagy szögmértékben, számítva a szem optikai középpontjától, mintegy 50''; másszóval a föl nem fegyverzett szem számára lehetetlenség két olyan fénypontot különváltan felfogni, a melyeknek szögtávolsága kisebb 50''-nél. Ezzel teljesen egybevágna az égen a kettős csillagok szétválasztásánál tett tapasztalatok. Az, hogy ez a reczehártya rendkívül finom szerkezetének következménye, azonnal kitűnik, ha meggondoljuk, hogy egy négyzetmilliméterre mintegy 13000—14000 ilyen sejt esik. Egyébiránt a szem optikailag egyáltalán nem tökéletes szerkezetű, nagy mértékű gömbi és különösen szini eltérés hibája terheli, azonkívül a pontok képének keletkezésekor az intenzitás az eltérés következtében keletkező fénykorongocskák közepén a peremhez viszonyítva oly nagy, hogy a legkisebb pontok képének keletkezésekor mégis éppen csak egyetlen reczehártya elem szerepel.

Habár a szemnek egyidejűleg érvényesülő látómezeje igen nagy — mindkét szemmel oldalt teljes félkört tekinthetünk át —, azért mégis nagyon kicsiny a szemnek az a része, a melylyel élesen láthatunk. Ez a hely körülbelül a szemek optikai főtengelye mentén fekszik, az ú. n. sárga folt közepében, és ideghártya-gödör a neve. Ez a rész csupán csapokat tartalmaz és látómezejének nagysága 40'-tól 50'-ig terjed. Ha valamit élesen akarunk látni, akkor a szemizmok a szemet úgy irányítják, hogy a megsejmlélendő tárgy képe pontosan az ideghártya-gödörre essék. Arról, hogy a reczehártya többi részeivel mily tökéletlenül látunk, kísérlettel könnyű meggyőződni. Nem kell mást tenni, mint valamely



tárgyat élesen szemügyre venni a szemek legcsekélyebb mozgása nélkül — a mi csak bizonyos gyakorlat után sikerül —, s eközben oldalt a látómezőben a kezét ide-oda mozgatni. A kéz mozgását jól észrevevesszük, de nem tudjuk megmondani a kinyújtott ujjaknak a számát, míg másrészt néhány másodperc alatt — vagy a mint itt jobban mondhatnók, néhány »szempillantás« alatt — nagyobb, bonyolultabb alakú tárgyat minden részletében meg tudunk ismerni s emlékezetünkbe vésni. Ez a szemek rendkívül gyors, majdnem öntudatlan mozgásának eredménye s ezekben a szemmozgásokban olyan gyakorlottak és ügyesek vagyunk, hogy a tárgy körvonalait felette gyors egymásutánban hozzuk az éles látás pontjába. Ez a cselekvésünk többnyire nem is jut tudatunkra, azonban más valakinek a szemein, a ki nagyobb tárgyat figyelmesen vesz szemügyre, világosan láthatjuk a szemmozgásokat. A közönséges látás tehát, a mint azt mindennap gyakoroljuk, már igen bonyolult és részleteiben egyenként nehezen követhető folyamatokon alapszik.

Említettük már, hogy az ideghártya-gödrön kívül a látás élesség és felismerés dolgában meglehetősen tökéletlen. A felismerés nagyon megkönnyíthető a tárgyak mozgatásával. Ha az ú. n. közvetett látásnál, tehát oldalt a látómezőben, valamely kis tárgyat nem veszünk észre, akkor azonnal észrevehetővé válik, mihelyt a látómezőben helyét megváltoztatja. Egyébiránt úgy látszik, hogy sötét látómezőben igen kis tárgyak észrevehetősége közvetett látásnál nagyobb, mint közvetetlen látásnál; de jól megjegyzendő, csak az észrevehetőség, vagy a megtalálás könnyebb ilyenkor, nem pedig a megismerés.

Minden megismerés fénybeli vagy színbeli különbségeken alapszik. Ha az utóbbit egyelőre nem tekintjük, akkor valamely tárgy két helye közti kontraszthatás teszi ezt a két helyet elkülönített észrevevés tárgyává s ez a kontraszthatás ismét a tárgyak abszolút fényességétől függ. Bizonyos kicsiny fényességen aluli tárgyakat a szem nem vesz észre, mert »fényességük a szem ingerküszöbén alul fekszik«. Bizonyos fényességen felül szintén nem lehet többé fényességkülönbségeket érezni, mert a túlerős fény a szemet vakítja. Ilyenkor a szem kórosan megváltozik s néha állandó szembajt okozhat. A szemnek kedvező megvilágításnál a legnagyobb figyelem mellett 10%-os fényességbeli különbségeket még éppen

hogyan észre tudunk venni, de ennél kisebbeket már nem tudunk megkülönböztetni.

Szemünknek egy igen kellemetlen fogatkozása van, a melytől a kontraszthatással kapcsolatban az előbb említett ingerküszöb függ, úgy hogy e határ alatt levő fényességek a legsötétebb térben sem vehetők többé észre, amennyiben a reczehártya vagy a látóideg rostjai folytonos izgalomban vannak, ennél fogva még a fény teljes hiánya sem látszik tökéletesen feketének. Valami foltos, gyengén világos háttérrel mindig látunk, a melynek foltjai folytonos hullámzó mozgásban vannak. Ezt a szubjektív világosságot a szemben valószínűleg a vérkeringés idézi elő, mert az említett hullámzás gyakran közvetlenül a szívveréssel függ össze.

Oly ingereknél, a melyek a szemben a vérkeringést fokozzák, pl. szeszes ital élvezete után, az előbb említett jelenségek feltűnő módon erősödnek. E szerint a reczehártyán keletkezett kép helyén az összfényesség két részből tevődik össze: az egyik a látómező szubjektív világossága sötét térben, a másik a reczehártyára vetített kép fényessége. Ha ezt az összeget elosztjuk a szubjektív világosság mérőszámával, megkapjuk a kép környezetéhez viszonyított kontraszthatást. Valamely kép csak akkor válik észlelhetővé, ha ez az ellentét 1%-nál nagyobb.

A szemnek van olyan önműködő szabályozókészüléke, a mely érzékenységét a fény iránt gyöngé fénynél fokozza, erős, ártalmas fénynél pedig csökkenti. Ez a szaruhártya és a szemlencse között levő ernyő, a szivárványhártya, a melynek nyílása, a szembogár vagy pupilla, meglehetősen tág határok között változtatható. Sötétben vagy nagyon gyöngé világításnál a szembogár átmérője 8 millimétert is elérhet. Mennél erősebb a világítás, annál kisebbre húzódik össze a szembogár, 1 milliméter átmérőjű is lehet. Minthogy a beeső fény mennyisége a nyílás négyzetével arányos (azaz kétszer akkora nyíláson át négyszer annyi fény jut be, ha a nyílás háromszor akkora, a beeső fény kilencszer annyi stb.), azért gyöngé világításnál 64-szer annyi fényt tudna a szem felfogni, mint nagyon erős világításnál. Ezt saját szemünkön is igen jól figyelhetjük meg, ha oly gyöngé világításnál állunk a tükör elé, hogy a szem feketéjét alig lehessen látni. Ha azután a tükör és a szem között hirtelen világosságot gyújtunk, melynek sugarai a szembe



esnek, egészen jól látjuk, hogy  $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$  másodperc alatt hogyan húzódik össze erősen a szem pupillája.

Ha a reczehártya valamely helyét fényinger éri, az ingerlés helyén valami elváltozás (elfáradás) keletkezik, a mely valószínűleg chemiai természetű, ennél fogva bizonyos időt igényel. Ez az idő a fény erőssége és a megvilágítás tartama szerint különböző, a mi azt vonja maga után, hogy csak igen rövid ideig tartó fénybenyomás, mint például az elektromos szikránál, látszólag hosszabb ideig eltart. Mikor a pillanatnyi fénybenyomások oly gyorsan következnek egymásra, hogy a következő benyomás megérkezésénél az első benyomás hatása még erősen megvan, a szem többé nem tudja a megszakításokkal érkező fénybenyomásokat egymástól elkülöníteni. Ha a fénybenyomások egymásutánjának szaporasága növekszik, akkor először a káprázás érzése jelentkezik, azaz a fénybenyomás erőssége a következő benyomásig csökken ugyan, de nem szűnik meg teljesen; végül a fényforrás folytonos fényt látszik kibocsátani, mint pl. a váltakozó árammal táplált elektromos lámpa. A szemnek ezt a tulajdonságát sokféleképpen használják fel, különösen érzéki csalódások keltésére, pl. a sztrobo-szkópnál vagy lényegesen tökéletesített alakban a kinematográfnál, a melynél a különböző szakokban lefotografált mozgásjelenségek gyors egymásutánja következtében látszólag folytonos mozgásba mennek át. Egyébiránt a kinematográfiánál a gyorsaság még nem elég nagy; a képek többnyire kellemetlen káprázást idéznek elő.

Ha a fénybenyomás erősebb volt, vagy ha hosszabb ideig tartott, akkor a reczehártyának fény okozta izgalma hosszabb ideig, több percig, esetleg óráig megmarad. Ez a jelenség többnyire nagyon zavar, de viszont ekkor pontosabban tanulmányozható. Ha fényesebb tárgyat több másodpercig mereven nézve, erősen szemügyre veszünk, s ha azután szemünket behunyjuk vagy a szobát besötétítjük, először néhány másodpercen át a tárgyat természetes színében egész élesen látjuk, azután a színek kezdenek megváltozni és az utókép lassan eltűnik; de ha már eltűnt, rendesen hunyorgatással vagy másféle szemmozgással rövid időre ismét láthatóvá lehet tenni. Ha az utókép láthatóságának tartama alatt a szemet mozgatjuk, az utókép követi a mozgásokat, az előbb szemügyre vett tárgy látszólag a szemmel együtt mozog, a mi egészen természetes. Ha a tárgy megtekintése alatt

szemünk nem maradt teljesen mozdulatlanul, az utókép elmosódott és kettős, vagy többszörös lesz. A míg tart az izgalmi állapot, a mely a sötétben az első vagy pozitív utóképet létrehozta, addig a reczehártyának ez a helye további fényingerek iránt lényegesen érzéketlenebb. Ha tehát még jól látszó pozitív utóképnél hirtelen világos felület felé fordítjuk szemünket, az utókép megfordul, azaz világos alapon sötétnek látszik, és pedig azért, mert az új inger az utókép helyén kevésbé erősen hat, az utókép negatívvá lett. Ha szemünket váltakozva kinyitjuk meg behunyjuk, az utóképeket tetszés szerint pozitívokból negatívvá változtathatjuk át és viszont.

Ha nagyon fényes tárgyakat csak rövid ideig is nézünk, pl. a Napot vagy elektromos fényt, a keletkező utóképek oly erősek, hogy szemünket egy ideig alig használhatjuk. Éppen az tűnik el teljesen, a mit élesen akarunk látni, a mit tehát a szemben az éleslátás pontjába akarunk hozni; felismerhetjük például valamely ember alakját, de nem az arcát, mert éppen ennek a képét hozzuk mindig a reczehártya túlizzgatott helyére, az ideghártya-gödörbe. Gyakran gyöngé fényhatások is hosszabb ideig maradnak meg, a mit csak akkor veszünk észre, ha teljesen sötét helyiségben, vagyunk, a mennyiben ekkor a hatások a szem belső világosságát kissé erősítik. Fényben igen gyöngé égi testeket tehát csak sötétben kipihent szemmel ismerhetünk fel, vagyis olyan szemmel, a melyekből az utóképek végső maradványai is eltűntek.

Utóképek már gyakran vezettek akaratlan látásbeli csalódásokhoz. Idetartozik az a már sokszor közölt megfigyelés, hogy valamely hullócsillag fényes csillagról vált le. Az illető megfigyelő a fényes csillagot szemlélte erősen s szemét azután valamely irányban mozgatta, a csillag gyorsan elhalványuló utóképe ebben a mozgásban résztvett és így a fényes csillagból kiinduló hullócsillag látszatát idézte elő.

Fényes világítás mellett bizonyos körülmények között a szemben valóságosan jelenlevő testecskek, mint nyálkacsomócskák, hártadarabkák vagy rostok válnak láthatóvá azáltal, hogy a reczehártyára árnyékot vetnek. Rendesen ezeket az árnyékokat nem vesszük észre, mert az aránylag nagy pupillaryilás mellett nagyon gyöngévé és elmosódottá válnak. Ha azonban csak nagyon szűk fénykéve lép a szembe, mint a hogy az gyakran



előfordul, ha mikroszkópon vagy távcsövön át nézünk, akkor az árnyékok élessé válnak s mint kicsiny hólyagocskák, rostok s más ilyfélék jutnak az észrevezés körébe. Többnyire lassan mozognak a látómezőn keresztül s a szem mozgásainál megváltoztatják valódi helyüket. Ha az éleslátás pontján kívül vannak, a szem mozgásával önkéntelenül igyekszünk őket ebbe a pontba hozni; de természetes, hogy éppen úgy, mint az utóképek, követik a szem mozgásait, a miért lebegő árnyékoknak (*mouches volantes*) szokás őket nevezni. Alkalmassint ezek is okozhatnak csalódásokat. A reczehártyának azon vérerei, a melyek az alattuk levő nagyon fényérzékeny elemekre árnyékot vetnek, rendesen nem vehetők észre s különös eljárásokra van szükség, hogy megláthassuk, ezért fölösleges erre a jelenségre bővebben kiterjeszkednünk. Hasonlóképpen elegendő, ha itt a szemnek néhány más szubjektív jelenségét is csupán megemlítjük, pl. fényes pontok felvillanását fényes felületek megtekintésénél, vagy erősen mozgó világos pontok megjelenését, mikor lehajlás vagy egyéb a vér nyomását a fejben fokozó körülmények különösen erős izgalmi állapotokat létesítenek.

Éppen úgy, a mint a vérereknek a reczehártyára eső árnyéka rendesen nem jut az észrevezés körébe, a szem »vak folt«-ja is a tudaton kívül marad. Azon a helyen, a hol a látóideg a szembe lép, a reczehártya teljesen vak. Ennek a helynek az átmérője 1·5—2 milliméter, a mi 6°—7°-os látómezőnek felel meg, a szem tengelyétől mintegy 16°-nyi távolságban. Látómezőnkben tehát nagy folytonossági hiány van, a melyben pl. tőlünk két méternyi távolságban levő ember egész arcza eltűnhetik. Ezt a részleges vakságunkat csak nagyon feltűnő jelenségeknél vesszük észre, pl. mikor fekete felületen levő nagy világos folt hirtelenül látszólag eltűnik.

Az exakt tudományokban a látás maga többnyire nem elégséges: mérni is kell. De bármilyen természetű legyen is a mérés, bármilyen szerkezete is van a mérőeszköznek, végeredményben a szemnek részt kell vennie a mérésben a megítélés vagy becslésnek nevezett folyamat által. De a becslés a mérésbe szubjektív elemet visz be s ezzel — minden emberi érzéktevékenység tökéletlenségénél fogva — oly hibaforrást, a melyet gyakran csak a legnagyobb nehézségekkel lehet kiküszöbölni. Minden tudományos mérésnél az egyéni hibák megállapítása igen fontos,

ezért itt kissé behatóbban kell vele foglalkoznunk s először is egyszerű példán fogjuk a hibák minéműségét és kiküszöbölésük módzatait megmagyarázni. A példa kicsiny távolságoknak mikrométercsavar segítségével történő mérésére fog vonatkozni. Ezzel az alkalommal egyszersmind ennek a nagyon gyakran használt mérőeszköznek a magyarázatát is ideiktathatjuk.

Vonalaknak pontos méréséhez legtöbbször mikrométercsavart használunk. Ez nagyon gondosan készített csavar, melynek hibáit megvizsgálják. A csavar hegyére támaszkodva forgás alkalmával szánt mozgát, melyen finom mérőjel, pl. pókhálósál van kifesztve. A csavar fején korong vagy dob van, mely rendszeren 100 részre van osztva. Az egyes osztásrészek között ennek az osztásnak tizedrészeit egy index segítségével lehet megbecsülni, úgy hogy a csavar állása a teljes fordulásnak ezredrészeig leolvasható. Ha most pl. a csavar menetmagassága 0.5 milliméter, akkor a csavar *egy* teljes fordulásánál a mérőszál ugyancsak 0.5 milliméterrel mozdul el, ennél fogva a szál eltolódása ennek ezredrészeire, tehát 0.0005 milliméternyire mérhető. Ily mikrométert távcsőnek vagy mikroszkóp-nak az okulárrészeire alkalmaznak; a mérőszál a képsíkba, de az okuláron át szemlélve egyszersmind az éles látás távolába esik, úgy hogy a megméréendő tárgy képe és a szál látszólag ugyanabban a rendes látástávolságban levő síkban fekszik. Oly mikroszkóppal, melynél a tárgylencse tízszeresen nagyít, a melynél tehát a kép tízszer nagyobb a tárgynál, a példánkban felvett csavarral még 0.00005 milliméteres eltolódást mérhetnénk meg, ha maga az okulár annyira nagyít, hogy ezt a távolságot még fel lehet ismerni. Ha most milliméterekre osztott finom mérővesszőn két osztásvonalnak távolságát kell megmérni, a mérőszálat a csavar segítségével felváltva az első és második osztásvonalra fogjuk beállítani s a csavar állását a dobon leolvassuk. De itt azonnal valami bizonytalanság áll elő, mert az osztásvonalnak és a mérőszálnak egyaránt van bizonyos vastagsága s ezért nem lehet egészen pontosan megítélni, hogy a vonalnak és a szálnak közepei egybeesnek-e, vagy hogy szélességükön belül van-e jelen valami részaránytalanság? A tapasztalás tanított meg arra, hogy sokkal pontosabban lehet beállítani, ha nem egy, hanem egymással párhuzamos és egymáshoz közellevő két mérőfonalat használunk, a melyeknek távolsága egymástól valamivel nagyobb, mint az osztásvonal szélessége.



Mérés alkalmával az osztásvonalat a két fonál közé középre állítjuk be. Tegyük föl, hogy mikrométerünk ilyen kettős fonállal van felszerelve. Két megfigyelő, ki a két osztásvonal közötti távolságot méri, erre igen közel ugyanazt az eredményt fogja kapni. Az egyik például több mérésének közepéül 1'0056, a másik 1'0054 millimétert talál, úgy hogy ebből nagy bizonyossággal arra lehet következtetni, hogy a két osztásvonal közepben 0'0055 milliméterrel van messzebb egymástól, mint a mennyi a mikrométercsavar menetmagasságának kétszerese. Rendesen azonban sokkal rosszabb megegyezést találunk, ha nem két osztásvonal távolságának méréséről, hanem ily osztásvonalnak a mikrométercsavarrhoz viszonyított helyzetéről van szó. Itt az első megfigyelő pl. 4'6212-t, a másik pedig 4'6040-t találna, azaz míg viszonylagos távolságméréseknél a két megfigyelő 0'0002 milliméterre egyezett, addig az osztásvonal abszolút helyzetének mérésében 0'0172 milliméterrel, tehát az előbbinek 80-szorosával tért el egymástól. És mégis mind a ketten azt fogják állítani, hogy a vonalat pontosan a két fonál középebe állították be s ha az egyik a másiknak beállítását megtekint, azt teljesen helytelennek találja. A jelenség azon alapszik, hogy minden ember másképpen becsüli meg a közepet, a szemmértéke más és más. Erről mindenki maga könnyen meggyőződhetik, ha először a beállítást oly pontosan megcsinálja, a hogy csak lehet s azután megfordító prizmat (41. lap) tesz az okulár elé; a jobb- és baloldal most fel van cserélve, a beállítás hibája az ellenkező oldalra kerül s ennél fogva megkétszereződik; ilyenkor gyakran csodálkozhatunk azon, hogy mily hibásan állítottunk be. Két vonal távolságának a mérésénél mindkét vonalat egyformán hibásan állítjuk be, a két beállítás különbségéből tehát a hiba kiesik s innét van azután a jó megegyezés. Ebből látható, hogy hacsak lehetséges, a méréseket mindig úgy kell elrendezni, hogy szigorúan viszonylagos mérések legyenek. De ezt nem mindig lehet elérni, pl. akkor nem, mikor a két tárgynak, a melynek távolságát egymástól meg kell mérni, egymástól eltérő alakja, fénye, vagy színe van, mert ez a beállítást módosíthatja. Ilyen esetekben a megfigyelő egyéni hibáját, vagy mint mondani szokás »személyi egyenletét« kell kipuhatolni, pl. megfordító prizma segítségével, hogy a mérések egyéni hibáját kiküszöböljük.

Említettük már, hogy az ilyen egyéni hibák vagy személyi

egyenletek mindenfajta mérésnél megvannak, ennél fogva a legkülönbözőbb alakúak. Némelykor különösen akkor szembetűnők és jellegzetesek ezek a hibák, ha mérésnél nem csupán egy érzék működik közre, hanem kettő, mint pl. az időmeghatározásnál. A csillagászatban az időmeghatározás nagyon gyakori művelet. Ez úgy történik, hogy a nyugvó távcső látómezején a Föld forgása következtében csillag vonul át s a megfigyelő *hallgatja* a másodpercek ütését és *látja*, hogy a másodperc melyik törtrésznél érinti a csillag a látómezőben kifeszített vonalat. Az időmegállapításnál tehát látás és hallás egyidejűleg működik közre, s míg a gyakorlott megfigyelő tizedrészmásodpercnyi pontossággal tud megfigyelni, addig különböző megfigyelők eredményei teljes másodpercczel térhetnek el egymástól. A személyi egyenlet itt azáltal keletkezik, hogy az érzékekre ható valóságos hatás — fényhullámok érkezése a szem reczehártyájára, hanghullámoké a fül csigájába — és e hatásnak tudatossá válása között különböző személyeknél különböző hosszú, de többnyire meglehetősen észrevehető idő múlik el, a mely a különböző érzékek számára is különböző. Így a személyi egyenlet ugyanannál a megfigyelőnél más; mikor a hallás helyett az önkényes izommozgást veszi igénybe, mint pl. a csillagátmenetek regisztrálásánál, mikor a megfigyelő nem hallgatja az óra ketyegését, hanem abban a pillanatban, mikor a csillagot a fonálon látja, elektromos billentyűt nyom meg, a mi által az időt automatikusan feljegyzi. Itt az időbe kerülő élettani mozzanatok sorrendje a következő: reczehártyainger — tudatossá válás az agyvelőben — akarat — a megfelelő izmok összehúzódása.

Különös nehézséget okoz az is, hogy a személyi egyenlet nem mindig állandó, hanem hogy lassú változásoknak, némelykor muló ingadozásoknak is van alávetve. Ezek a változások úgy látszik különösen akkor szerepelnek, mikor a megfigyelő magát begyakorolja, de később is majd nő, majd fogy a személyi egyenlet. A muló ingadozásokat külső körülmények idézik elő, mint pl. kifáradás vagy izgatottság.

A fényerősség és színkülönbség megfigyelésében, illetve mérésében mértékadó élettani törvényeket és az ilykor megjelenő sajátságokat nem fogjuk itt tárgyalni, mert a fotométria alapjait alkotják és tárgyalásukat majd az erről szóló fejezetre halasztjuk.



Végül még egy hibára kell figyelmeztetnünk, a mely csekély mértékben majdnem minden szemnél megvan és a mely nagyon zavaróan hat, ha erősebb mértékben nyilvánul. Ez a szemnek délköri eltérése, ú. n. asztigmatizmusa, mely a szem közegeinek, különösen a szaruhártyának szimmetriátlan alakjában leli okát; a szaruhártya görbülete ugyanis vízszintes irányban rendesen erősebb, mint függőleges irányban. Vízszintes irányban tehát a kép egyesítése a reczehártya előtt történik ugyanakkor, a mikor függőleges irányban pontosan a reczehártyán keletkezik a kép. Észrevehetően asztigmatikus szem ennél fogva nem láthatja egyszerre élesen a fonálkereszt két fonalát, az okulárt minden fonálra külön kell beállítani, a mi méréseknél nagyon zavaróan hathat. Ez az ú. n. szabályos asztigmatizmus azonban ellensúlyozható és ártalmatlanná tehető oly szemüveg segítségével, melynek lencséi függőleges irányban erősebben görbültek, mint vízszintes irányban, még pedig akként, hogy az asztigmatikus szemmel egyesítve teljes szimmetriás rendszert alkotnak.

---

## MÁSODIK SZAKASZ.

### A SZÍNKÉPELEMZÉS.

A színképelemzésnek az a feladata, hogy a földi vagy égi testből kiinduló fényt különböző hosszúságú fényhullámai szerint széjjel bontsa, abból a célból, hogy az egyes eredetileg összekevert fényfajtákat külön-külön lehessen megismerni és megvizsgálni. Az erre való készülékek a spektroszkópok, spektrométerek vagy spektrográfok. A különös fényösszetételnek vagy színeképnek (spektrum) ezen szétbontásával kapott ismeretekből, a színképelemzés elmélete alapján, a megvizsgált testek kémiai és fizikai alkatára közvetlenül következtethetünk, sőt az égítetek mechanikai mozgásairól is tájékozódhatunk.

Először a különféle spektroszkóp-szerkezeteket fogjuk ismertetni, kezdve a legegyszerűbbeken egészen a bonyolultabb modern műszerekig, továbbá alkalmazásukat a távcsövön és felhasználásuk módját, a színeképek kimérését, fotografálásukat és utólagos értékesítésüket. Végül a legfőbb spektroszkópiai elméleteket fogjuk megmagyarázni.

---

## NEGYEDIK FEJEZET.

### A színképelemző készülékek szerkezete.

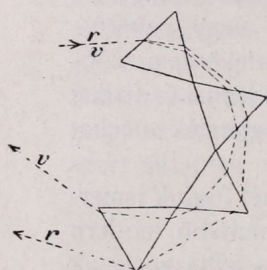
Két eszközünk van arra, hogy a fényt hullámhosszúságok, vagy a színek színei szerint szétbontsuk vagy szétszórjuk. Ilyen eszközök a prizmák és a rácsok. E szerint prizmás és rácsos spektroszkópokat szokás megkülönböztetni. Előbb a prizmásokat ismertetjük.

A fény útját egyszerű prizmán keresztül a második fejezet 2. szakaszában behatóan tárgyaltuk. Láttuk, hogy az ibolyaszínű sugár erősebben tér el, mint a vörös. A két sugár irányának különbsége a szórásszög, a melynek nagysága csupán az üveg törésmutatójától és a prizma törésszögétől függ, föltéve, hogy a fény a legkisebb eltérés útján megy a prizmán keresztül.

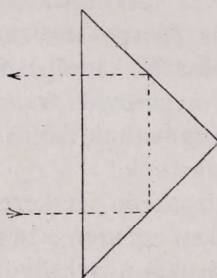


Sok esetben, így különösen színeképek mérésénél előnyös, ha erős szórást alkalmazunk, hogy így mennél kiterjedtebb színeképet kapjunk. Egyszerű prizmánál ezt oly üvegfajták alkalmazásával érjük el, melyeknek szóróképesége lehetőleg nagy, s ha azonkívül lehetőleg nagy törésszöget is választunk. De mindkét föltételnek csakhamar van határa. A legerősebb szórást a nehéz flintüveg adja, mely erősen ólomtartalmú s ezért valóban nagy fajsúlyú is, de ennek színe már meglehetősen sárga. A legnehezebb ilyenfajta üvegek már annyira színesek, hogy az ibolya és kék fényt már át sem bocsátják, ennél fogva a szórásnak felső határt szabnak. A törésszöget sem vehetjük akármilyen nagyra. Az első

szakaszban tett megjegyzések alapján beláthatjuk, hogy mennél nagyobb a törésszög, annál nagyobb a sugarak belépés- és kilépésszöge, míg végül a prizma törőlapjaival párhuzamosan haladnak s ebben az esetben a prizma belsejébe fény többé be sem jut. De már jóval ezen határeset elérése előtt nagyon sok fény



29. rajz.



30. rajz.

megy veszendőbe visszaverődés következtében, mert a be-, illetve kilépés szögével együtt a visszaverődés is nő.

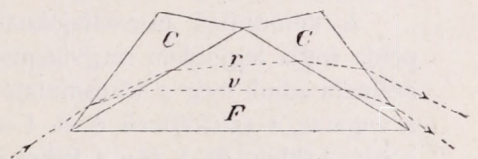
A gyakorlat megtanított arra, hogy nehéz flintüvegeknél a törésszöget nem szabad  $60^\circ$ -nál lényegesen nagyobbra venni. Ha erősebb szórásra van szükségünk, mint a milyent ilyen prizma megenged, akkor ezt több ilyenféle prizának, vagy pedig különböző üvegfajtákból készült prizmáknak kombinációjával érhetjük el.

Az első esetben a prizákat egymás mellé sorakoztatjuk, úgy hogy alapjaik összeérjenek, a törő élek pedig külön legyenek s a fénynek valamennyi prizmán kelljen keresztülmennie. Mind-egyik prizma közel ugyanakkora szórást csatol a már meglevőhöz, úgy hogy pl. négy prizma négyszer akkora szórást létesít, mint csak egy prizma. A mellékelt 29. rajz mutatja a fény útját négy prizmából álló rendszeren keresztül.

A prizmák számának végül is az szab határt, hogy a prizmák

körre záródnak össze. De akkor is meg lehet kétszerezni a szórást, ha a fényt a prizmakon keresztül még egyszer visszafelé irányítjuk. Erre a célra aránylag magas prizmákat használunk s a fény első útját alsó felükön tétetjük meg először. Az utolsó prizma utolsó határlapjára teljesen visszaverő prizma van ragasztva, úgy a mint az a 30. rajzon látható. Ezzel a fényt arra kényszerítjük, hogy a prizmák felső részén keresztül az egész utat még egyszer tegye meg. De ma már nem igen készítenek olyan spektroszkópokat, a melyekben ennyi sok a prizma; miként alább látni fogjuk, a legerősebb szórásokat sokkal egyszerűbb és célravezetőbb úton rácsokkal érhetjük el.

Különbféle üvegfajtákból készült prizmák segítségével a szórást úgy nagyobbíthatjuk meg, hogy a nehéz flintüvegből készült tulajdonképpen ható prizmának törésszögét igen nagyra vesszük s más prizmákkal azután elérjük, hogy a fentebb említett hátrányt kiküszöbölhessük. A flintüvegprizma törésszögét  $90^\circ$ -osnak, vagy még ennél is nagyobbak teszszük, de két



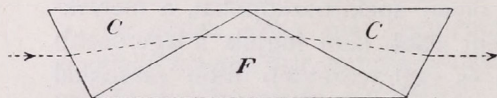
31. rajz.

törő határlapjára igen gyöngén törő és szóró koronaüvegből való prizmákat ragasztunk, még pedig fordított helyzetben, úgy hogy az utóbbiaknak törő élei a flintüvegprizma alaplapja felé kerüljenek. A 31. rajz két sugár útját tünteti fel ilyen összetett, compound vagy Rutherford-féle prizmán keresztül. A fénysugarak hajlása a külső koronaüveg felülethez nem nagyobb, mint az egyszerű prizmánál, az összetett prizma okozta eltérítés sem nagyobb, de a flintüvegprizma nagy törésszögénél fogva a szórás sokkal nagyobb, mint az egyszerű prizmánál, bár az ellenkezőképpen felragasztott koronaüvegprizmák a szórást részben csökkentik.

Még egy lépéssel tovább menve, a flintüvegprizma és a koronaüvegprizma törésszögét egyaránt még nagyobbra szabjuk és úgy számítjuk ki, hogy végül valamely adott színű fénysugarat, pl. a zöldet, az összetett prizma már el nem téríti, hanem a sugár ugyanabban az irányban lép ki, mint a melyben érkezett. Az ily rendszereket egyeneslátású (à vision directe) prizmáknak szokás



nevezni. Ilyent mutat a 32. rajz. A rajzban a középső zöld sugár útja van feltüntetve. Ibolyaszínű fénysugár a rajzban lefelé, vörös színű fénysugár fölfelé való eltérítést mutatna. Ha ezt a prizma-rendszert mint egészet tekintjük, akkor a szórás látszólag fordítottja az egyszerű prizmaénak, de csakis látszólag, mert hiszen a flintüvegprizma a mértékadó az ő rendkívül nagy törésszögével.



32. rajz.

Három részből összetett egyeneslátású prizma helyett sokszor öt részből összetett prizmákat használnak, a melyeknél két flintüvegprizma szerepel s a me-

lyeknek szórása természetesen nagyobb, mint a három részből összetetté.

A különböző prizmafajoknál jelentkező szórásokat néhány példa fogja legjobban megvilágítani. Erre a célra háromféle sugár számára adjuk meg a törésmutatót és a legkisebb eltérítést. Ezek a sugarak a színeknek ú. n.  $C$ -vonala a vörösben, az  $F$ -vonal a zöldes-kékben és a  $H\gamma$  a kékes-ibolyában.

### 1. Koronaüvegprizma $60^\circ$ -os törésszöggel.

Sugár	Törésmutató	Eltérítés	Szórás $C$ és $H\gamma$ között
$C$	1.5151	$38^\circ 35'$	} $1^\circ 13'$
$F$	1.5238	$39^\circ 22'$	
$H\gamma$	1.5288	$39^\circ 48'$	

### 2. Flintüvegprizma $60^\circ$ -os törésszöggel.

Sugár	Törésmutató	Eltérítés	Szórás $C$ és $H\gamma$ között
$C$	1.6459	$50^\circ 37'$	} $3^\circ 10'$
$F$	1.6651	$52^\circ 34'$	
$H\gamma$	1.6769	$53^\circ 47'$	

A flintüvegprizma szórása tehát majdnem háromszor akkora, mint az ugyanolyan törésszögű koronaüvegprizma szórása. Itt világosan látható a flintüvegprizmák rendkívüli előnye a koronaüvegprizmák felett.

## 3. Összetett prizma.

A flintüvegprizma törésszöge  $= 94^{\circ} 30'$ ,  
törésmutatója  $H_{\gamma}$ -nál  $= 1.674$ .

A koronaüvegprizmák törésszöge  $= 18^{\circ} 30'$ ,  
törésmutatója  $H_{\gamma}$ -nál  $= 1.520$ .

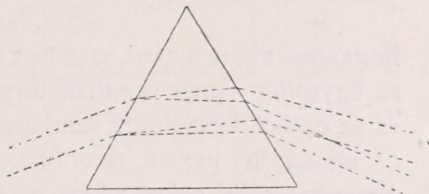
Eltérítés  $H_{\gamma}$ -nál  $= 66^{\circ} 30'$ .

Szórás  $C$ -től  $H_{\gamma}$ -ig  $= 4^{\circ} 40'$ .

Két összetett prizma eszerint körülbelül ugyanolyan szórást ad, mint három flintüvegprizma, azonfelül azonban még a fény eltérítése közel  $40^{\circ}$ -kal kisebb.

Mielőtt a spektroszkópok szerkezetének leírására áttérnénk, még néhány általános jelenséggel kell megismerkednünk, a melyek akkor jelentkeznek, a mikor a fény a prizmákon keresztül halad.

A *színekép tisztasága*. Ha nemcsak egy fénysugár — a mint ezt eddig föltettük —, hanem két különböző pontból kiinduló fénysugár egymás mellett esik a prizmára, akkor a két keletkező színekép részben átnyúlik egy-

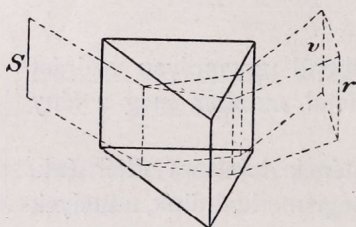


33. rajz.

másba, a mint azt a 33. rajz világosan feltünteti. Képzeljünk e két sugár mint határ között számtalan más sugarat, azaz essék a prizmára széles sugárkéve, akkor számtalan színekép keletkezik, a melyek részben egymás fölé helyezkednek. Ebben az esetben tehát csak tökéletlenül fogjuk elérni a kitűzött célt, t. i. a különböző hullámhosszágú sugarak szétválasztását: a színekép nem lesz tiszta. Ezért színeképelemző készülékek szerkesztésénél mint elengedhetlen föltételt tekintetbe kell venni azt, hogy — a különálló sugár csak matematikai fogalom lévén — a megvizsgálandó sugárkévének lehetőleg kicsiny, pontszerű felületből kell kiindulnia, például ernyőbe finom tűvel szúrt nyílásból. Ily módon tiszta, de rendkívül keskeny színeképet kapnánk, t. i. a szivárványszínek egymásutánjából álló fényvonalat. Ámde élet-tani okokból az ilyen finom vonalban a szem nem bír részleteket megkülönböztetni s ezért széles színekép előállítása szükséges. Ezt



legegyszerűbben úgy érjük el, hogy sugárforrásul nem egyetlen pontot, hanem pontok egész sorozatát, tehát vonalat használunk, mely a prizma törő élével párhuzamos. Az ernyő kicsiny kerek nyílását tehát *réssé* kell meghosszabbítani. Ha a kicsiny nyílást nagyobb köralakú nyílássá tágítanók, akkor az egymás mellett fekvő sugarak tisztátalan színeképet adnának. Valamely  $S$  részből kiinduló nagyon vékony, de széles fénykéve a szétbontás után



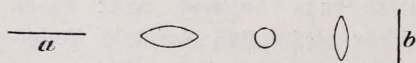
34. rajz.

a prizmat oly ék alakjában hagyja el, melynek egyik oldallapja vörös, másika ibolyaszínű. A mellékelt 34. rajz a sugármenetet mutatja be.

#### *Homocentrikus képkeletkezés.*

Egyetlen pontból kiinduló sugárkét homocentrikusnak nevezünk. Ha ilyen sugárkéve útjába optikai lencsét teszünk, akkor a kéve

homocentrikus marad, azaz ha a lencsék a sugarakat ismét egyesítik, az egyesítés ismét pontban történik. A keletkező kép tehát pont, és az optikai készülékek szerkesztésénél tekintetbe kell venni, hogy ez mindig így legyen. Azonban, ha a homocentrikus kéve prizmán megy keresztül, akkor a kéve az átmenet után általában nem homocentrikus többé, hanem asztigmatikus, vagyis ha a sugarakat az átmenet után egyesítjük, a prizma törő élével párhuzamos sugarak más távolságban egyesülnek, mint azok, a melyek ezen élre merő-



35. rajz.

leges síkban fekszenek. Ha azt a távolságot, a melyben az először említett sugarak találkoznak  $a$ -val, azt a távolságot pedig,

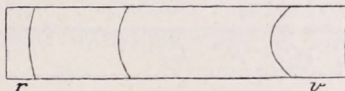
a melyben az utóbb említettek találkoznak,  $b$ -vel jelöljük, akkor a 35. rajzon könnyen követhetjük azokat a változásokat, a melyeken valamely pont képe az  $a$ -tól  $b$ -ig való úton keresztül kell menni.

$a$ -ban pontszerű kép helyett a törő élre merőleges vonalat kapunk,  $b$ -ben pedig a törő éllel párhuzamos vonalat.  $a$  és  $b$  között ellipszisalakú korongokká tevődik össze a kétféle kép,  $a$  és  $b$  között pontosan középen köralakú kép keletkezik. Pontnak képe tehát sehol sem lesz többé pont. Kiterjedt tárgyak képei ennél fogva nem élesek.

Szerencsére vannak azonban oly különös esetek, a melyekben homocentrikus kéve a prizmán való átmenet után is homocentrikus marad. Ez az eset például akkor áll elő, ha a prizma eső sugarak egymással párhuzamosak, vagyis röviden párhuzamos sugárkévénél, továbbá akkor is, mikor a sugarak által egymással bezárt szög igen kicsiny. De valamivel nagyobb nyílásszögű kévéénél is megmarad némileg a homocentrikusság tulajdonsága, ha a prizma nem téríti el észrevehetően a sugarat; ez az előnyük nagyon közelítőleg az egyenes látású prizmáknak van meg. A színeképkészülékeket tehát akképpen kell szerkeszteni, hogy vagy párhuzamos, vagy közel párhuzamos fény használatára legyenek berendezve, vagy pedig egyenes látású prizmákat kell alkalmazni. Nagy nyílásszögeket minden körülmények között kerülni kell.

*A színeképvonalak görbültsége.*

Ha kevert fényben valamely határozott hosszúságú hullám azzal tűnik ki a többiek között, hogy különösen fényes vagy intenzív, vagy pedig ellenkezőleg nagyon csekély az intenzitása, akkor ez az



36. rajz.

előbb említett vonalalakú színeképben a hullámhosszúság helyére eső fényes, illetve sötét pontban fog kifejezésre jutni. Abban a széles, szalagszerű színeképben, mely rés alkalmazásakor keletkezik, ezen a helyen ennél fogva fényes, illetve sötét vonal jelenik meg, mely merőlegesen keresztül szeli a színekép szalagját s színeképvonal vagy spektrumvonal a neve.

Tegyük fel, hogy pl. a rés közepéből kiinduló sugár a prizma törőéléhez merőlegesen érkezik a prizmához; az a sugár, mely a rés egyik végéből indul ugyanabba a pontba, a hová az előbb említett sugár, ennél fogva ferdén esik a prizmára s ezért erősebb eltérítést vagy szórást szenved, mint az előbbi merőleges sugár, vagyis a színeképsáv hosszanti szélein a fény eltérítése nagyobb, mint a közepén, a színeképvonal tehát nem lesz többé egyenes, hanem görbült, még pedig homorú oldalával az ibolyaszín felé görbül.

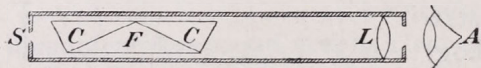
Minthogy az eltérítés növekedése sokkal erősebb az ibolya, mint a vörös sugarak számára, azért a vonalak a színekép ibolyaszínrészében erősebben görbültek, mint a vörösben. A prizma segít-



ségével létesített színekép tehát oly vonalgörbültséget fog feltüntetni, aminőt a 36. rajzban láthatunk.

A vonalak alakja közelítőleg a parabola. A görbültség annál erősebb, mennél nagyobb az eltérés s ennél fogva nő a prizma számával. A fentiek alapján egyeneslátású prizmánál a színekép középső részének vonalai teljesen mentesek minden görbültségtől. Ha prizmás spektroszkópokban létesített színeképeken pontos méréseket végzünk, akkor a vonalgörbültséget a legnagyobb gonddal kell tekintetbe venni. Ha a színeképet lefotografáljuk, a szélességet oly kicsinynek választhatjuk, hogy a görbültség hatása még erős eltérítés mellett is kicsi lesz.

A legegyszerűbb spektroszkópok szerkezete az előbbi megjegyzések alapján most már könnyen érthető. Legegyszerűbb alakjában a spektroszkóp prizmából és résből áll. A rés esetleg még



37. rajz.

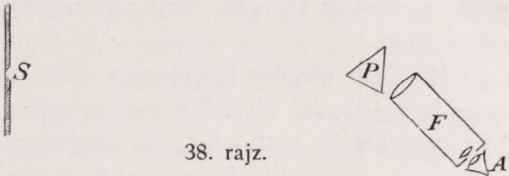
hiányozhatik is, ha t. i. maga a megvizsgálandó fényforrás vonalalakú. A rést vagy a rést pótló fényvonalat — Geissler-féle

cső, üvegpálczáról visszavert fény — az éles látás távolságába helyezzük és prizmán át szemléljük. Ekkor a rést színeképpé széjjelhúzza látjuk. Itt mindenféle fajtájú prizmat használhatunk, mert a fénykéve nyílásszöge függ a pupillanyílásnak az éléslátás távolságához való viszonyától, a mi rendesen látó szemnél 6 mm: 200 mm, ami körülbelül  $1\frac{1}{2}^{\circ}$ -kal egyenlő. Oly közellátó ember, kinek látótávolsága 60 mm, pápaszem nélkül már csak egyeneslátású prizmat használhatna, mert nála a nyílásszög már  $5^{\circ}$ -ot tenne ki.

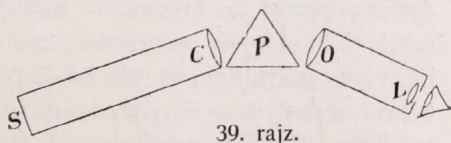
Ennek az elvnek az alapján már a legegyszerűbb eszközökkel lehet színeképeket megfigyelni, pl. a Nap színeképét úgy, hogy az üvegpálczáról visszavert napfényt prizmán keresztül szemléljük.

A spektroszkópnál is könnyen el lehet érni azokat az előnyöket, a melyeket a tárgyaknak nagyítóval való szemlélése nyújt. A rést nagyítón át szemléljük úgy, hogy a rés és a nagyító közé prizmat teszünk. A lencse nagyításával egyezően a résnek itt most közelebb kell lennie a szemhez. De ekkor már ismert okoknál fogva csak egyeneslátású prizma használható. Ebben a legegyszerűbb alakjában a spektroszkóp méretei aránylag kicsinyek s

ezért mint zsebspektroszkópot sokféle célra alkalmazzák. Szerkezetét a mellékelt vázlatos 37. rajz mutatja. Ebben  $S$  a rés,  $CFC$  az egyeneslátású prizma,  $L$  a nagyító vagy okulár és  $A$  a szem. A rajz a természetes nagyság fele.

A mint a rést az éleslátás távolságában pusztá szemmel, vagy e távolságon belül nagyítóval lehet szemlélni, éppen úgy a nagy távolságban levő rés távcsövön át is megfigyelhető. Ezáltal a spektroszkópnál is kihasználhatjuk mindazokat az előnyöket, a melyeket a távcsö-  

 38. rajz.  
 vön át való megfigyelés nyújt. Ennél az elrendezésnél az  $S$  rést nagyobb távolságba, 5–8 méternyire helyezzük a prizmától, az erre a távolságra beigazított  $F$  távcsövön pedig a  $P$  prizmából kilépő sugarakra irányítjuk, úgy a mint a 38. rajz vázlatosan mutatja.

Ebben az esetben közönséges prizmákat lehet alkalmazni, mert a rés a távcső tárgylencséjétől aránylag nagy távolságra van s ennél fogva kicsiny a nyílásszög, mely a tárgylencse átmérőjének a tárgy távolságához való viszonyától függ. Az eszményi eset az lenne, ha a rést végtelen távolságba helyezhetnők, úgy hogy a sugarak egymás között párhuzamosak legyenek. A gyakorlatban ez persze nem valósítható meg; de a kívánt eredményt nagyon egyszerű módon a kollimáció elve alapján érhetjük el (v. ö. 55. lap).



A rés és a prizma közé lencsét helyezünk oly távolságra, hogy a rés a lencse gyújtópontjában legyen. Tudjuk, hogy ebben az esetben az egy pontból kiinduló sugarak a lencséből úgy lépnek ki, hogy egymással párhuzamosak. A kollimátor alkalmazásával a spektroszkóp legtökéleteseb alakját kapjuk, mely a legtöbb szerkezetnél mint alapelv szerepel. A 39. rajz vázlatosan tünteti fel ezt az elrendezést.

De amilyen egyszerű a kollimátoros spektroszkóp elve, éppen oly nehéz és bonyolult oly műszernek gyakorlati előállítás, mely



nemcsak tiszta és éles színeképeket ad, hanem a színeképben még a legkényesebb méréseket is lehetővé teszi.

Erre a célra elsősorban a spektroszkóp optikai részének kifogástalan elkészítése fontos. A műszerben alkalmazott lencséknek, tehát a kollimátorlencsének, a megfigyelő távcső tárgylencséjének is teljesíteniük kell azt a föltételt, hogy a kívánt látómezőn belül torzítatlan és éles képeket adjanak. Másrészt a lencsék szerkezete a látómező nagyságától függ, ezt pedig azok a célok szabják meg, a melyeket a spektroszkóp szolgáltatni akar.

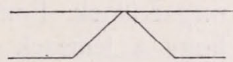
Ha csak kicsiny látómezőre van szükség, melynek átmérője  $1^\circ$  vagy  $1\frac{1}{2}^\circ$ , mint pl. a közönséges csillagászati távcsöveknél, akkor jó achromatikus kettős lencsék elégségesek, éppen úgy, mint ezeknél a távcsöveknél. Ha azonban nagyobb látómező kívánatos, akkor olyan három vagy négy lencséből összetett rendszereket kell használni, melyek aplanatikus képet szolgáltatnak, vagyis olyant, a melynél a kép síkban fekszik, ellentétben a közönséges lencsék szolgáltatta gömbfelületen fekvő képhez. Általában a kereskedésekben kapható fotografiai objektívek alkalmasak erre a célra.

A lencséknek aránylag könnyen elérhető jósága kárba vész, ha a prizmák rosszak s ezzel a képeket elrontják. A jó prizma elkészítése azonban sokkal nehezebb, mint a jó lencséé, mert éppen olyan jó kivitelben könnyebb gömbfelületet előállítani, mint síkot. De ha a prizma határlapjai nem síkok, hanem egy irányban görbültek, vagyis ha lényegükben hengerfelületek, akkor a homocentrikus fénykéve a prizmán való átmenet után asztigmatikussá lesz, a mit éppen el kellene kerülni. Ha a határlapok szabálytalanok, akkor elmosódott képek keletkeznek. De oly prizmák, melyeknek határlapjai jók, mégis rossz képeket adnak, ha az üveg anyaga nem teljesen egynemű (homogén), a mi különösen nagyobb prizmánál csak nehezen érhető el. Ha pl. az üveg a prizma alaplapjai felé sűrűbb, mint a törő él felé, ha tehát a törésmutató az előbbi helyen nagyobb, mint az utóbbin, akkor ennek hatása olyan, mint ha a határlapok hengerszerűen görbültek lennének s ennél fogva itt is asztigmatizmus keletkezik. Később látni fogjuk, hogy a spektroszkópi méréseknél mily fokú pontosság kívánatos, és akkor majd meg fogjuk tudni ítélni, hogy a

spektroszkóp optikai részeinek mily rendkívül nagy kívánalmakat kell kielégíteniök.

Lássuk most közelebbről a spektroszkóp egyes részeinek gyakorlati kivitelét és pedig abban a sorrendben, a melyben a fény rajtuk keresztülhalad.

A *rés*. A különböző hosszúságú hullámok szétválasztásánál rendkívül fontos a színek tisztasága. Ez pedig függ a rés szélességétől. Ezért a rést lehetőleg gondosan kell készíteni, úgy, hogy a legnagyobb finomság mellett — a nyílás szélessége mintegy 0.01 milliméter — egész hosszában egyenletes fényvonalat adjon. De mennél szűkebb a rés, annál kevesebb fény jut a spektroszkópba, ezért gyöngébb fényforrások vizsgálatánál gyakran nem tehetünk egyebet, mint hogy a színek tisztaságának rovására tágabb réssel figyelünk. Általában tehát szükséges, hogy a rés tágasságát minden spektroszkópnál bizonyos határok között változtatni lehessen. Ezért a rést alkotó lemezek mindkettejének, vagy legalább azok egyikének eltolhatónak kell lennie. Érthető ennél fogva, ha az igazán jól készített spektroszkóp-rést mechanikai mesterműnek tekintik.



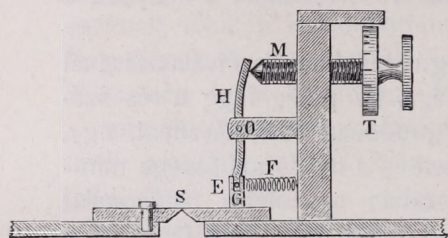
40. rajz.

A rés egyenes, hosszú éleinek pontosan és élesen kell egymással szemben állaniok s teljesen párhuzamosoknak kell lenniök; ezen semminek sem szabad változnia, mikor a rés tágasságának változtatásakor a lemezeket eltoljuk. A rés éleinek ékalkot adnak (40. rajz) s értékesebb műszereknél lehetőleg kemény, a levegő és a párák hatásának lehetőleg ellenálló anyagból készítik. Legjobban irídium-platinötvözetek váltak be erre a célra. A rés éleinek nagyon éleseknek kell lenniök. Ha nagyobb ellenállóképesség kedvéért kissé laposra készítenők, akkor szűk rés mellett a fény többszörös visszaverődést szenvedne, ennek pedig interferencia jár a nyomában s a színekben széles, sötét vonalakat idéz elő, melyek Talbot-féle vonalak néven ismeretesek.

Ha a rés éleinek kivitele nem tökéletes, ha például kis fűrészfogszerű kiemelkedések vannak rajtuk, akkor szűk résállás mellett ezek a kiemelkedések a szembenálló élt érinteni fogják. Ily helyen azután a fényvonal megszakad és a színek megfelelő helyén sötétség áll elő. Minthogy ez valamennyi hullámhosszra egy-

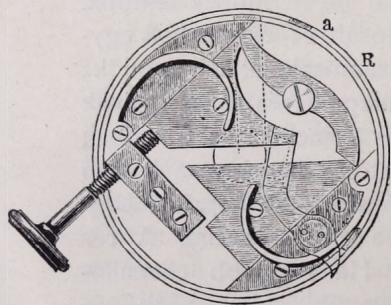


idejűleg következnek be, azért a résnek ezen megszakításai a színképen végighúzódnó sötét *hosszvonalak* alakjában mutatkoznak. Hasonló hatást okoz természetesen a rés tisztatlansága is, pl. a beléje került por, ezért ezeket a hosszvonalakokat porvonalaknak is szokás nevezni.



41. rajz.

A rést alkotó lemezeket eltolhatás céljából felette gondosan készült szánszerkezetbe foglalják. A mozgatás többnyire mikrométercsavar segítségével történik, a melynek fején beosztott dob van s erről a rés szélességét közvetlenül le lehet olvasni. Könnyen megtörténhetnék, hogy a rés elzárásánál a rés élei túlerősen nyomódnak egymásra s ezáltal megsérülnek. Ennek elkerülése céljából a rés szerkezete olyan, hogy a lemezek gyenge rúgó nyomása által mindig kissé egymáshoz nyomódnak. A csavar azután csak arra való, hogy a rés éleit egymástól eltávolítsa. A 41. rajz vázlatos képe olyan szerkezetnek, melynél a résnek csak egyik éle eltolható.



42. rajz.

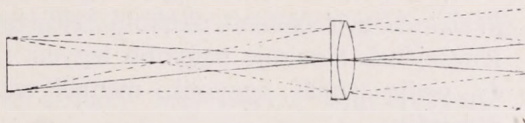
Ha a résnek csak az *egyik* élét toljuk el, ezzel a rés közepét is elmozdítjuk (az éleltolódás felével) s ezzel elmozdítjuk az egész színképet is. Nagyobb résnyílás mellett ez kényelmetlenségekre vezethet s ezért kieszeltek olyan szerkezeteket is, a melyek mind a két lemeznek egyidejű szimmetriás eltolódását teszik lehetővé, úgy hogy a rés közepe változatlan helyzetben marad. A 42. rajzban mutatunk be ilyenféle szerkezetet. Itt a rés a tolóléczczel  $45^\circ$ -os szöget zár be, az egyik lemezt közvetlenül a csavar tolja el s ennek mozgását emeltyűszerkezet viszi át a másik lemezre. A rés *csukódását* itt is rúgók végzik.

Ugyanerre a célra való másféle szerkezet — melyet szerény méreteinél fogva kivált zsebspektroszkópoknál alkalmaznak —

abból áll, hogy mindkét lemezből szegecske áll ki, mely a rés alatt levő korongnak spirálisalakú mélyedésébe fogódzik. A korong forgatásakor a lemezek szimmetriásan közelednek egymáshoz, vagy távolodnak egymástól.

*Kollimátor és prizma.* A kollimáció elvével ugyan már az első szakaszban megismerkedtünk, de azért mégis szükséges, hogy itt még egyszer kissé behatóbban foglalkozzunk vele. A rés a kollimátorlencse gyújtósíkjában van. Figyeljük meg annak a három fénysugárnak az útját, melyek a résnek két szélső pontjából és (a kollimátorlencse optikai tengelyén fekvő) középső pontjából indulnak ki (43. rajz).

A már ismert alapelvek szerint a rés említett pontjaiból kiinduló minden fénykúp a kollimátorlencsén való átmenet után párhuzamos sugárnyalábbá változik, melynek nyílása akkora, mint a kollimátorlencse. Az egyes sugárnyalábok iránya a megfelelő melléktengelyektől függ, vagyis azoktól a vonalaktól, a melyek a rés pontjait a lencse középpontjával kötik össze. Minthogy a résnek nincs számbavehető szélessége, az összes sugárkévek párhuzamosak azzal a síkkal, mely a résen és a lencse középpontján megy át.



43. rajz.

Kévert fény alkalmazása esetén a párhuzamos sugárnyalábok mindenféle hosszúságú hullámokat tartalmaznak. Minthogy a kévek a nevezett síkban szétágaznak, azért fényvesztesség elkerülése céljából a prizmat valamivel magasabbra kell szabni, mint a mekkora a kollimátorlencse átmérője. De könnyen belátható, hogy ez annál csekélyebb mértékben szükséges, mennél közelebb van a prizma a kollimátorlencséhez. Azt, hogy a sugárnyaláboknak hajlása egymáshoz a színek vonalainak görbültségét vonja maga után, már említettük.

De a prizma a sugárkéveket a résen és a lencseközépponton átmenő síkhoz merőleges irányban is eltéríti, még pedig a hullámok hosszúsága szerint, úgy hogy például az ibolyaszínű sugarak erősebb eltérítést szenvednek, mint a vörösek,



miközben az ugyanolyan hullámhosszúságú sugarak egymással párhuzamosak maradnak. A prizmából ennél fogva párhuzamos, egynemű sugárkévék lépnek ki. Közülök azok, a melyek a rés közepéből indulnak ki, csak az említett síkhoz merőleges irányban téríttetnek el, míg a rés többi pontjából kiinduló sugárkévék magában a síkban is széttartanak.

Azt a körülményt, hogy itt párhuzamos, egynemű sugárkévékkel van dolgunk, különösen kell hangsúlyoznunk, mert egyedül ezen fordul meg annak a lehetősége, hogy a kollimáció elvét a spektroszkópra alkalmazhassuk, másszóval, hogy a rés valamely pontjából érkező egynemű sugarakat a megfigyelő távcső gyújtósíkjában ismét egyesíthessük és pedig egyidejűleg valamennyi sugárkévét.

A távcső, a melyen keresztül az összetett spektroszkópnál a színeképet észleljük vagy lefotografáljuk, a prizma után következik. A már említett okokból szükséges, hogy a távcső tárgylencséjének átmérője nagyobb legyen, mint a prizma magassága, és pedig annál nagyobb, mennél nagyobb a kollimátorlencse átmérője.

De itt mindjárt megemlítjük, hogy általában a rés hosszát a lencsék átmérőjéhez viszonyítva oly kicsire szabják, hogy a két lencse nyílásának egyenlősége révén előálló fényvesztéség elenyészően kicsiny ahhoz a fényvesztéséghez képest, a melyet egyéb okok idéznek elő. Mindenesetre nem szabad, hogy a megfigyelő tárgylencsége kisebb legyen a kollimátorlencsénél. A távcső tárgylencsége gyújtótávolságának megválasztásában a kollimáció alapelvei irányadók. Ha a tárgylencse és a kollimátorlencse gyújtótávolságai egyenlők, akkor a kép és a tárgy nagysága megegyeznek, vagyis a színekép szélessége pontosan egyenlő a rés hosszával. Ha a tárgylencse gyújtótávolsága a nagyobbik, akkor a kép nagysága arányosan növekszik, a színekép fényereje a gyújtótávolság négyzetének növekedésével arányosan fogy, de a mérés pontossága a színekép nagyobb terjedelménél fogva növekszik. Ha a tárgylencse gyújtótávolsága a kisebbik, akkor a mérés pontossága csökken, a fényerősség pedig a gyújtótávolság négyzetének csökkenésével arányosan nő. Tekintettel az elérni kívánt pontosságra és a megvizsgálandó tárgyak fényerősségére, minden körülményt gondos mérlegelés tárgyává kell tenni, ha oly spek-

trostkópot akarunk készíteni, hogy az a kitűzött célra a lehető legjobb legyen.

Általában a különböző színek széttartó sugárkévei csekély szórás mellett a távcső tárgylencsáját majdnem egészen kitölthetik. Ilyenkor a távcsőben az egész színeképet egyszerre tekinthetjük át. Erősebb szórás mellett ez azonban nem lehetséges; a színeképnek csak valamely részét láthatjuk, pl. a vöröstől a sárgáig terjedőt, ezért más részek megfigyelése céljából a távcsövet el kell tolni és forgatni. Erre a pontra későbben még vissza kell térnünk.

A távcső gyújtó síkjában keletkező valós színeképet vagy közvetlenül nagyítón (okulár) át szemléljük, vagy pedig a gyújtó síkban levő fényérzékeny lemezre lefotografáljuk és azután vizsgáljuk meg, esetleg nagyító vagy mikroszkóp segítségével. Ha közvetlenül a színeképet magát szemléljük, akkor a műszert spektroszkópnak nevezzük, a fotografálásra szolgáló eszközt pedig spektrográfnak.

*A színekép fényereje.* A színekép fényerejének vagy fényességének nem szabad bizonyos határok alá süllyednie, mert különben a részletek beérne többé fel nem ismerhetők, vagy le nem fotografálhatók. A fényerő sok tényezőtől függ, melyek a spektroszkópban mind együttesen hatnak. Itt őket külön-külön fogjuk tárgyalni, hogy azután együttes hatásukat könnyen megértessük.

Mindenféle sugarat kibocsátó fényforrás színeképe nem egyéb, mint a rés egyes képeinek folytonos egymásutánja.

Fogadjuk el egy pillanatra azt a helytelen, de a további fejtegetéseinket nagyon egyszerűsítő föltevést, hogy az összes sugárnemek fényessége ugyanaz. Később látni fogjuk, hogy ez egyáltalán nincs így, mert a fényesség bonyolult módon függ a fényforrás minőségétől és hőmérsékletétől, továbbá a szem élettani sajátosságaitól, vagy a fotografuslemez fizikai tulajdonságaitól.

Föl fogjuk tenni ennél fogva, hogy a színeképnek valami közepes, egyenletes fényessége van. A résre eső fénynek területegységenként bizonyos  $H$  fényessége lesz. Ha most a kollimátornak és a távcső tárgylencsájének ugyanolyan a gyújtótávolsága s ennél-



fogva a rés képei ugyanakkorak, mint maga a rés, akkor világos, hogy a megfigyelő távcső gyújtósíkjában keletkezett színekép fényessége egyenlő lesz az említett  $H$  fényességgel elosztva a rés szélességének a színekép hosszához való viszonyával. Néhány példa ezt jobban megvilágítja. Valamely spektroszkópnál a rés szélessége legyen 0.10 milliméter, a látható színekép hossza az észlelő távcső gyújtósíkjában legyen 20 mm, akkor a színekép fényessége  $h = H:200$ , vagyis a résre eső fény fényességének kétszázadrésze. Ha a szórást a prizmák szaporításával megkétszerezzük, akkor változatlan szélesség mellett a színekép hossza ugyancsak megkétszereződik, ennél fogva a fényesség az előbbinek fele, az eredetinek tehát négyszázadrésze, vagyis  $h = H:400$ . Ellenben ha a szórást változatlanul hagyjuk, de a távcső tárgylencséjének gyújtótávolságát megkétszerezzük, akkor a színeképnek szélessége és hosszúsága egyidejűleg megkétszereződik, a színekép összterülete tehát négyszer akkorára növekszik s ennek következtében fényessége négyszerte kisebbé válik, a  $H$ -t most nyolczszázzal kell elosztani. A színekép nagyobbítása tehát előnyösebben a prizmák szaporításával érhető el, mint azáltal, hogy a távcső tárgylencséjének gyújtótávolságát megnöveljük. Hasonlóképpen az okulárnagyítás is hatással van a színekép látzólagos fényességére. Oly okuláron át, mely egy másiknál kétszer oly erősen nagyít, a színekép négyszerte gyengébbfényűnek látszik.

Látható ezekből a példákból, hogy a színekép fényerőssége és a megsejmlélés vagy mérés pontossága mindig ellentétben vannak egymással.

Az imént adott számszerű példák azonban csak közelítőleg helyesek. Az optikai viszonyokat egyáltalában nem tekintve, a spektroszkópban mindig erős fényvesztéség létesül a számos üvegfelületen való visszaverődés és az üvegben való fényelnyelés következtében.

Jól csiszolt üvegfelület a merőlegesen reá eső fénynek legalább 5 vagy 6%-át veri vissza a szerint, a mint korona- vagy flintüvegről van szó. Mennél ferdébben éri a fény a felületet, annál erősebb a visszaverődés. Nem fogunk tehát túlozni, ha fölteszszük, hogy a spektroszkópban minden üvegfelület visszaverődés következtében 6%-os fényvesztéséget okoz. Tekintsünk

például oly spektroszkópot, a melyben két prizma van, Ebben a következő visszaverő felületekkel találkozunk: az összeragasztott achromatikus kollimátorlencse két felülete, négy prizmafelület, két tárgylencsefelület, két okulárfelület, összesen tíz felület, melyek visszaverődés következtében 48%-os fényvesztést eredményeznek, vagyis ebben a spektroszkópban az egész fénynek mintegy a fele visszaverődés következtében elvész.

Sokkal nehezebb az elnyelés következtében létrejövő fényvesztést megállapítani, mert ez nemcsak az egyes színek, hanem a különféle üvegfajták szerint is nagyon különböző s függ az egész használt üvegréteg vastagságától. Az utóbbi összefüggésből közvetlenül belátható, hogy kisebb méretű spektroszkópokban az elnyelés következtében keletkező fényvesztés kisebb, mint egyébként hasonló szerkezetű, de nagyobb spektroszkópokban. Fehér flintüvegfajták használata nem okoz nagyon jelentős fényelnyelés okozta veszteséget a színek látható részében. Ha azonban több, sárgásszínű, nehéz flintüvegből készült prizmát használunk, akkor a kék és ibolya színek némelykor teljesen elnyeletnek. A színek vörösentúli és ibolyántúli részét valamennyi üvegfajta már meglehetősen erősen elnyeli. A színek ezen részeinek megfigyelésére vagy lefotografálására kvarcból, mész- vagy folyópáthból, kőből stb. készült prizmákat és lencsákat kell használni, vagy pedig a spektroszkópokat olyképpen kell szerkeszteni, hogy csak fémfelületekről való visszaverődés szerepeljen, a nélkül, hogy a fénynek optikai közegeken kellene áthaladnia.

*Mérések a spektroszkópban.* Minden spektroszkópi mérésnek legfőbb feladata a színek különösen jellegzetes helyeinek, tehát a fényes és sötét színekvonalaknak hullámhosszúságait megállapítani. Ez a feladat két részre oszlik. Az első a színekvonalak abszolút hullámhosszúságainak megállapítása; erről gyakorlati okokból csak később lesz szó. A feladatnak második, egyszerűbb és könnyebb része azzal foglalkozik, hogy ismeretlen vonalak hullámhosszát más, már ismert hullámhosszúságú vonalakhoz való kapcsolás segítségével állapítja meg. Itt viszonylagos mérésekről van szó, s ez az egyetlen mód, a melyet a prizmás spektroszkópok megengednek.

Nem tekintve a színeket, a színek különféle vonalai abban



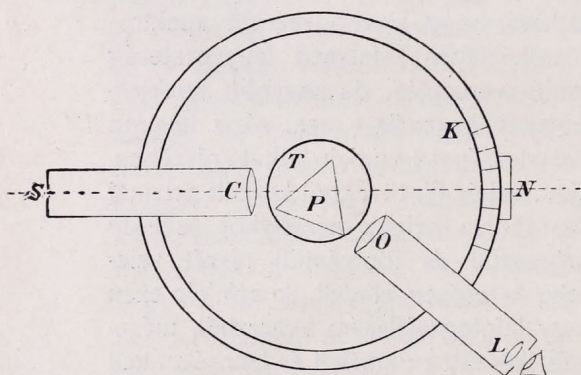
a különféle eltérítésben különböznek, melyet a vonalakat létesítő sugarak szenvednek, miután a prizmán átmentek, a minék következtében eredeti irányuktól, a kollimációs tengelytől eltérítették. A prizmának a kollimációs tengelyhez való állása szerint ezek az eltérítések úgyszólván teljesen önkényesek. De már volt alkalmunk hallani, hogy ezen eltérítések közül az egyik különösen kitűnik, t. i. a legkisebb eltérítés. Ha a spektroszkópban a prizrát tengelye körül forgatjuk, akkor a színek a látómezőben a legkisebb eltérítés iránya felé egy bizonyos pontig eltolódik. További forgatásnál a színek nem megy ezen a ponton túl, hanem ismét

visszafelé fordul. Az eltérítésnek ez a minimuma minden prizma és minden határozott hullámhossz számára állandó nagyságú szög, mely minden spektroszkópban pontosan megállapítható.

Ismeretlen vonalak hullámhosszúságát a legkisebb eltérítés elvének felhasználásával, viszonylagos mérések segítségével, oly spektroszkópok-

ban állapíthatjuk meg, melyeket »spektrométer«-eknek neveztek el.

A *spektrométer* áll részből, kollimátorból, egy prizmából és az észlelő távcsőből. Ennek a távcsőnek a gyújtósíkjában valami jegy van, pl. pókháló-szál, mely arra való, hogy a távcsövet a színeképvonalakra lehessen beállítani. Ahhoz, hogy az eltérítés szögeit megmérhessük, szükséges, hogy a távcsövet a prizma középpontján keresztülmenő tengely körül forgathassuk és hogy ezt a forgást beosztott körrel megmérhessük úgy, mint némely csillagászati műszernél, pl. theodolitnál vagy univerzális műszernél. A távcső forgásától függetlenül a prizmának is forgathatónak kell lennie a tengelye körül, azért, hogy a legkisebb eltérítés helyzetébe hozzassuk. Ezek szerint a spektrométer szerkezete vázlatosan a következő (44. rajz): Szilárd, kerek talapzatra az *S* réssel ellátott



44. rajz.

C kollimátorcső tartókar segítségével akként van vízszintesen ráerősítve, hogy a kollimációs tengely, vagyis a rés és kollimátorlencse közepeit összekötő egyenes vízszintes elhelyezésnél az állvány közepe felé irányul. Az állvány közepén függőleges tengely foglal helyet, a mely körül karral ellátott hengerszelencze forgatható. Ez a kar tartja az állvány közepe felé irányított *OL* észlelő távcsövet ugyanabban a magasságban, a melyben a kollimátorcső is van. A henger-szelenczére van továbbá ráerősítve a finoman beosztott *K* vízszintes kör is, mely az észlelő távcsővel egyszerre forog. A körnek és ezzel együtt a távcsőnek mindenkor helyzetét az *N* noniuszszal vagy pedig leolvasó mikroszkópokkal lehet pontosan megmérni. Az említett függőleges tengely közepén keresztül van fúrva s másik vékonyabb tengelyt foglal magában. Ennek az utóbbi tengelynek felső végén van a *T* asztalka, a melyen a *P* prizma foglal helyet. Ily módon elérték azt, hogy prizma, távcső és beosztott kör ugyanazon tengely körül forognak, de teljesen függetlenül egymástól. A prizma rendesen nem közvetlenül az asztalkára van ráerősítve, hanem az asztalka felett levő lemezre, melyet három igazítócsavar kapcsol az asztalkához. E csavarok forgatásával elérhetjük azt, hogy a prizma lapjai a függőleges forgástengelyhez valóban pontosan párhuzamosan álljanak, vagyis merőlegesen a kollimátor és az észlelő távcső tengelyeihez; ez pedig finomabb méréseknél elengedhetetlenül szükséges, mert ferdén érkező sugaraknál az eltérítés növekszik (v. ö. a színekpvonalak görbültségéről mondottakat). A beigazítás maga nagyon egyszerű. Az észlelő távcső két különböző helyzetében megfigyeljük a résnek a prizma egyik lapjáról visszavert képét. Most e lemez esetleges hajlását addig igazítjuk a prizma említett lapjával szemben levő csavar segítségével, míg a rés visszavert képe állandóan egyenlő magasságban marad, még pedig ugyanabban a magasságban, a melyben a rést magát közvetlenül látjuk, ha a távcsövet prizma nélkül állítjuk a kollimáció-tengelybe. Ugyanazt a műveletet a prizma második lapjával ismételtük, a mikor azután a prizma helyesen fel van állítva. Természetes, hogy az egész műszert esetleges hibáira, pl. a kör osztáshibáira nézve gondosan meg kell vizsgálni, a mint ez hasonló módon csillagászati műszereknél szokásos és szükséges.

A beállítás valamely meghatározott színekpvonálnak legkisebb



eltérítésére a következő módon történik: A prizmát és a távcsövet szemmérték szerint úgy állítjuk be, hogy a megméréndő színeképvonalat a távcső látómezejének körülbelül a közepén, a fonálkereszt közelében lássuk. Ezután a prizmát néhányszor ide-oda forgatjuk. Ekkor látni fogjuk, hogy a kiszemelt színeképvonal a látómezőnek valamely helye felé közeledik s attól ismét távolodik. Most úgy állítjuk a távcsövet, hogy a fonálkereszt ehhez a helyhez közel legyen. Ezt a műveletet többször ismételjük, míg meg nem győződünk arról, hogy a fonálkereszt pontosan egybeesik a megfordítás helyével. A távcső ekkor pontosan a legkisebb eltérítésre van beállítva s helyzetét a körosztáson le lehet olvasni. A spektrométer rendesen úgy van beigazítva, hogy a körosztás  $0^0$ -ot mutat, mikor a távcső egyenesen a résre irányul. Ha most a színeképvonalra való beállítása után pl.  $50^0\ 6'$ -et mutat, akkor ez éppen a keresett legkisebb eltérítés.

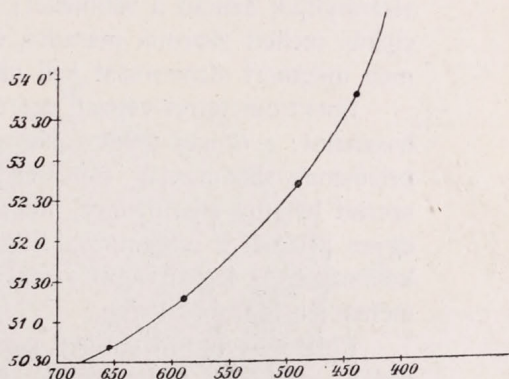
Egyébiránt a legtöbb esetben nem is állapítjuk meg a nulla-pont helyzetét, hanem az eltérítést két oldalon mérjük s a jobb és baloldali mérés közepét vesszük, miáltal a nulla-pontot kiküszöböljük. Tegyük fel példaképpen, hogy jobbfelé az eltérítés minimumaként  $50^0\ 31'$ -et mértünk, balfelé pedig  $310^0\ 19'$ -et, a mi  $360^0$ -ból kivonva  $49^0\ 41'$ -et ad. A két mérés közepe  $50^0\ 6'$ , mint előbb, de a nulla-pont  $25'$ -tel hibás volt, a mely hiba azonban a kettős mérésből kiesik.

Miután tudjuk, hogy miképpen kell különböző vonalaknál a legkisebb eltérítést megmérni, annak ismertetésére térünk át, miképpen lehet ismert hullámhosszúságu vonalak eltérítés minimumának méréséből valamely ismeretlen vonal hullámhosszúságát megállapítani. Ez a feladat nem könnyű, különösen midőn nagy pontosságról van szó. (A prizmás színeképekben t. i. a hullámhosszúságok eloszlása nem egyenletes. Így pl. a következő lapon levő kis táblázatban a  $H_\alpha$  vonal a vörösben van, a  $H_\gamma$  vonal pedig a kékben. A  $H_\alpha$  vonaltól a  $D$  vonalig 670 egységgel fogytak a hullámhosszúságok, vagy másszóval a két vonal között  $670\ \mu\mu$  van, míg a  $H_s$  és a  $H_\gamma$  vonal között 521. Mégis a színeképnek  $H_\alpha$ -tól  $D$ -ig terjedő része rövidebb, mint  $H_s$ -tól  $H_\gamma$ -ig terjedő. Ezt másképpen úgy is szokták mondani, hogy a prizmás színeképekben a vörös rész összenyomottabb, mint a kék- vagy ibolyaszínű; a színekép mértéke nem egyenletes.)

A hullámhosszúság bonyolult módon függ össze az eltérítés-sel s ezt az összefüggést a kívánt nagyobb vagy kisebbfokú pontosság szerint többé vagy kevésbé bonyolult matematikai »szórásképletek«-kel vagy interpolációs képletekkel lehet kifejezni. Az avatatlan számára azonban sokkal áttekinthetőbb és világosabb, ha formulák helyett grafikus eljárást használunk, s ezt egy példán mindjárt be is mutatjuk, bár tekintettel a példa terjedelmére, csak csekélymértékű pontosságról lehet szó.

Flintüvegprizmánál, melynek törésszöge  $60^\circ$  volt, a hidrogén színképében a  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$  és  $H_\gamma$  vonalainak és a nátrium  $D$  vonalának legkisebb eltérítését mérték meg. A következő táblázat e vonalak hullámhosszúságát (a számok jelentését később fogjuk megmagyarázni) és a megmért legkisebb eltérítéseket foglalja magában:

Vonal	Hullám-hossz	Az eltérítés minimuma
$H_\alpha$	6563	$50^\circ 37'$
$D$	5893	$51^\circ 10'$
$H_\beta$	4862	$52^\circ 34'$
$H_\gamma$	4341	$53^\circ 48'$



45. rajz.

Ezekből a számadatokból a szórás görbét igen egyszerűen úgy kapjuk, ha koordináta papirosra (milliméter-papirosra) a hullámhosszúságokat az egyik vízszintes vonalra (abszcissza-tengely), az eltérítés szögeit pedig az előbbenire merőleges vonalak egyikére (ordinátatengely) mérjük rá. Azokat a helyeket, a melyekben az összetartozó abszcisszáék és ordináták egymást metszik, pontokkal jelöljük meg és ezeken a pontokon át görbét rajzolunk, mely a pontok egymásutánjához lehetőleg jól simul. Ez a görbe lesz a szórás görbéje. A 45. rajz mutatja az előbbi táblázat számadatainak ilyenén ábrázolását.

Valamely fényforrás színképének zöld részében az egyik vonal legkisebb eltérítése  $52^\circ 2'$ -nek bizonyult. Ha az ordináta-tengelynek abból a pontjából, a mely  $52^\circ 2'$ -nek megfelel, az abszcissza-



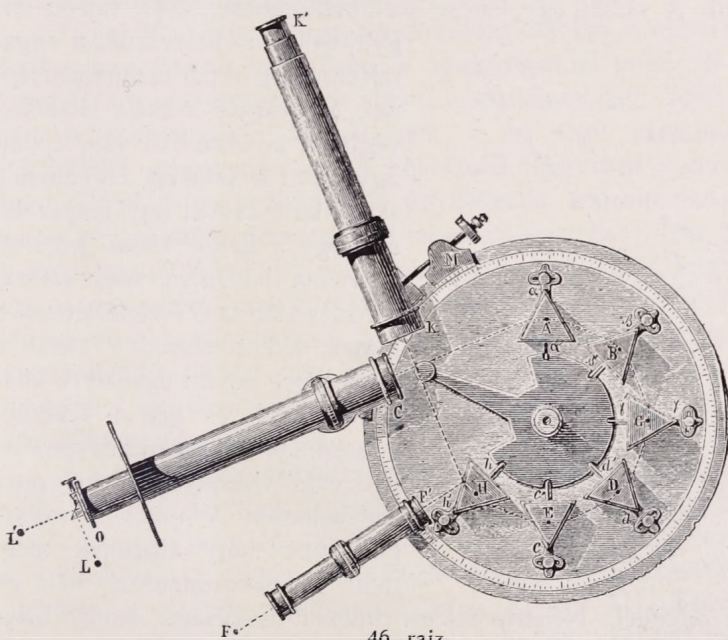
tengelyhez párhuzamos egyenest húzunk addig, a míg a szórás-görbét metszi és ha ebből a metszéspontból merőlegest húzunk az abszcisszatengelyre, akkor ezen a tengelyen az 5183 számnak megfelelő ponthoz jutunk. Ez ennél fogva az ismeretlen vonal hullámhosszúsága. Ha a színeképvonalak jegyzékében után nézünk, azt találjuk, hogy ennek a hullámhosszúságnak a magnézium egyik erős vonala felel meg, ennél fogva bizonyos, hogy ennek a fémnek gőze a fényforrásban jelen volt és világított.

Ha a spektrométerrel végzett méréseknél igen nagy pontosságot akarunk elérni, akkor természetesen nem elég, ha az egész színeképnek csupán három vagy négy vonalát ismerjük és ezekhez viszonyítjuk azután a többieket; hanem ilyenkor, ha a grafikus eljárás mellett akarunk maradni, egymástól kis távolságnyira számos megmért alapvonalat kell választani.

Spektrométerrel végzett méréseknél csak *egy* prizmat lehet használni; a szórás tehát sohasem valami jelentős. Utóvégre több prizmának alkalmazása esetében a legkisebb eltérítés módszere szerint lehetne eljárni úgy, hogy sorjában egymásután minden egyes prizmat a minimumra állítunk be, kezdve azzal, a mely a kollimátorhoz legközelebb van. De ez az eljárás nagyon kényelmetlen és időrabló lenne.

Ebben az utóbb említett esetben lemondunk arról, hogy az egész színeképet végigmérjük, hanem mozdulatlanul hagyva a távcsövet, külön kimérjük a színeképnek a látómezőben levő részét, miután e rész közepe számára előállítottuk az eltérítés minimumát. A látómezőben levő rész többi vonalai tehát nem pontosan a legkisebb eltérítés pontján vannak. Ennek a résznek a kimérése után hasonló módon járunk el a közvetlenül következő részszel s. i. t. A kimérés itt az okulárban elhelyezett mérőkészülékkel történik. A spektrométer drága körbeosztása tehát fölöslegessé válik, de ezzel egyúttal a spektrométer név is megszűnik az ilyen műszer számára. Már említettük, hogy az eltérítés minimumát csak egyszer kell a színekép minden kimérendő részében megállapítani, a mi azonban mindenestre kényelmetlen, ha több prizmat alkalmazunk. Ezért régebben szellemes automatikus berendezést használtak, a melynél a távcső forgatásával valamennyi prizmat egyszerre lehetett az eltérítés minimumára be-

állítani. Ez az elrendezés 6 prizma esetében a 46. rajzon látható. Az első asztalka a kollimátorcsőhöz, az utolsó az észlelő távcsőhöz kapcsolódik csuklószerkezettel. A prizma alapjára merőlegesen szilárd kar van minden asztalkához erősítve, a melybe hosszúkás rést vágtak. A távcső forgástengelyére fém pálczika van elhelyezve, mely a réseken keresztül megy és a melynek mentén ezek a rések eltolódhatnak. Mikor a távcsövet forgatjuk, akkor az



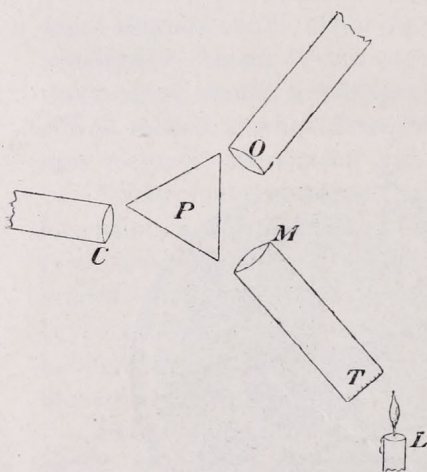
46. rajz.

utolsó prizma szintén megmozdul, ez ismét a következő prizmát kényszeríti mozgásra és így végig egészen az első prizmaig. A rések következtében a fém pálczikán csúszó karok azonban azt eredményezik, hogy ezeknél a mozgásoknál a prizma alaplapjai mindig szimmetriásak maradnak a forgásközépponthoz képest, ez pedig nem egyéb, mint a legkisebb eltérítés föltétele, a melynél a fény az alaplappal párhuzamosan halad a prizmán keresztül.

Most le fogjuk írni azokat a mérőkészülékeket, a melyek



mozdulatlan távcső esetében használatosak. Nagyon kényelmes, de csak csekélyebb fokú pontossággal járó, régebben sokszor alkalmazott módszer az, melynél a színképre mérőskálát vetítenek. Ennek elérésére az utolsó prizmalapot mint visszaverő felületet használjuk, még pedig a következő módon: Ezüstözött üveglap ezüstrétegében vékony vonások bekarcolásával finom osztást (skálát) állítanak elő (47. rajz,  $T$ ). Ha ezt a skálát egyik oldaláról megvilágítjuk, az osztásvonalakat sötét háttéren világosaknak fogjuk látni. A skálát egy lencse (kollimátorlencse, a 47. rajzon  $M$ )



47. rajz.

gyújtósíkjába helyezzük, a sugarak ennél fogva párhuzamosan lépnek ki, vagyis a skála látszólag végtelen távolságban van, éppen úgy, mint a színkép. Ha most a skálát tartó csövet úgy helyezzük el, hogy a belőle kilépő sugarak a prizma hátlapján való visszaverődés után az  $O$  észlelő távcsőbe jutnak, akkor ebben a skálát a színképpel együtt egyszerre világosan látjuk és így a színképvonalaknak a skála osztásvonalaihoz való viszonylagos helyzetét leolvashatjuk. A hullámhosszúságot éppen úgy állapítjuk meg, mint a spektrométerrel mért el-

terítésszögeknél. Néhány ismert hullámhosszúságú vonal helyzetét a skálarészekben megállapítjuk s a megmért ismeretlen vonalak helyzetét leolvassuk vagy interpolációs képletekkel, vagy grafikus módon számítjuk ki a megfelelő hullámhosszúságokat. A grafikus eljárásnál itt persze skálarészeket rakunk fel az ordinátatengelyre az eltérítésszögek helyett. A többi eljárás mind teljesen ugyanaz.

Finomabb méréseknél ma már csak az okulármikrométert használják, melynek berendezése teljesen ugyanaz, mint a csillagászati fonálmikrométeré, azzal a különbséggel, hogy pozíciószögben a távcsőnek tengelye körül nem kell elforgathatónak lennie. Az észlelő távcső-okulár végén szánszerkezet foglal helyet, mely

finom mikrométercsavarral mozgatható. A mikrométercsavar fején osztással ellátott dob van. A szánon van kifeszítve a fonálkereszt, melyet a csavar forgatása segítségével be lehet állítani a színekp vonalakra. Természetes, hogy itt a fonálkereszt síkjának egybe kell esnie a távcső gyújtósíkjával. Az előbb leírt berendezés skálárészeit vagy a spektromét ereltérítés-szögeit itt a csavar dobján végzett leolvasások helyettesítik. A hullámhosszúságok levezetése ismert vonalakból tehát ismét teljesen úgy történik, mint az előbbi módszereknél.

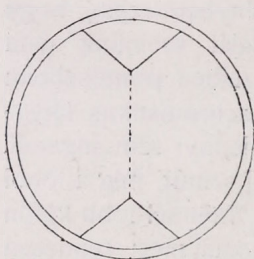
Talán itt a helye, hogy figyelmünket azokra a nehézségekre fordítsuk, a melyek különösen a spektroszkópi mérésnél jelentkeznek és a melyeknek oka abban a körülményben rejlik, hogy sem a spektroszkóp lencséi, sem a mi saját szemünk nem tökéletesen achromatikusak. A következő fejezetben pontosabban fogjuk látni, hogy a távcsőnek úgynevezett achromatikus tárgylencséje egyáltalán nem egyesíti teljesen valamennyi szín sugarait, hanem csupán kettőt, pl. a narancs- és a zöld színűt, míg a többi színek egyesítését csak közelítőleg lehet elérni. Mennél több külön lencséből áll a tárgylencse, annál jobban valósul meg rendesen a színtelenítés. Ezért van az, hogy a négy lencséből összetett fotografiai tárgylencsénél a színegyesítés jobb, mint a két lencséből álló távcső-objektívénél.

A tökéletlen színtelenítésnek azonban kétféle következménye van. Az egyik az, hogy az észlelő távcső gyújtótávolsága a különböző színek számára különböző, a második pedig az, hogy a különböző színekben az észlelő távcső fonálkeresztjét nem ugyanannál az egy beállításnál látjuk élesen. Az utóbbi körülmény aránylag jelentéktelen, mert minden színnél csak az okulárt kell másképpen beállítani, a mit jól készült műszernél meg lehet tenni, a nélkül, hogy ezzel a méréseknek ártanánk. Azonban jelentékenyebb az első körülmény hatása. A távcsőnek azt a részét, a melyre a mikrométer van rászerezve, nem lehet oly pontosan elkészíteni, hogy ne jöjjön létre kis oldalt való eltolódás, mikor a fonálkeresztet a gyújtósíkba kell újra beállítani a csőrész ki- vagy betolásával. Ez az oldalratolódás pedig maga után vonja az optikai tengely helyzetének megváltoztatását, a mi egyértelmű a nulla-pont megváltoztatásával. Ez a nagyon veszélyes hibaforrás minden olyan mérésnél fenyeget,



a mely az egész színképre terjed ki. A színkép kisebb részeinek kimérésénél az újból való beállítás fölösleges, ezért ezek a mérések általában pontosabbak is.

Csillagok spektroszkópi mérésénél jelentkezik különösen gyakran az a további nehézség, melyet a színkép fénygyöngesége von maga után. A színképek fényben sokszor oly szegények, hogy a fonálkeresztet nem is lehet rajtuk megkülönböztetni, ezért más mérőjelek bevezetését kísérelték meg. Így pl. célravezetőbb, ha sötét fonalak helyett világosakat használunk, a mint az a refraktorok fonálmikrométerein is gyakran szokásos. De gyönges színképeknél ez az eszköz sem válik be, mert a színképen keresztülmenő



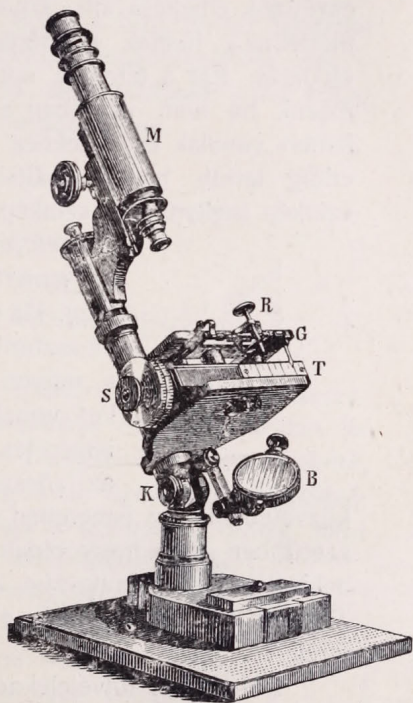
48. rajz.

világos fonál, még tompított mesterséges világítás mellett is, túlragyogja a színképnek a fonál közvetlen közelében levő részeit. Nagyon gyönges színképek kimérésénél jó szolgálatot tesz az a mérőjel, mely két, egymással szemben elhelyezett széles alapú hegyes fogból áll (48. rajz), a melyek szélességük következtében még erősen sötét látómezőben is láthatók, de éppen nagy szélességük miatt a beállítás pontossága nem igen

nagy. Sötét fogak helyett megpróbáltak világítókat is alkalmazni; a fogakat úgy tették világítóvá, hogy bekenték Balmain-féle világítófestékkel (kalcium- vagy bárium-monoszulfid). Fényben nagyon szegény színképeknél a legjobb eredményeket két szemközt álló fényvonallal érik el, melyek között a színkép szabadon marad. Ezeknek segítségével azután még a látás határán levő színképeknél is lehet méréseket végezni úgy, hogy az említett vonalak fényességét tompítjuk és külön berendezés segítségével mindig olyan színűvé teszszük őket, mint a milyen színű a színkép megméréendő része.

Egyébként nem szabad említetlenül hagynunk, hogy egészen gyönges színképeknél *sötét* fonállal is lehet nagyon jó eredményeket elérni abban az esetben, ha fényes színképvonalak méréséről van szó. Gondoskodnunk kell ekkor arról, hogy a fonál pontosan olyan széles legyen, mint a megméréendő fényes vonal, a fonálnak a vonalra való beállítását pedig arról ítéljük meg, hogy a vonal teljesen eltűnik a fonál mögött.

Elég lesz csak néhány szót mondanunk a lefotografált színek képek kiméréséről, mely a közvetlen optikai méréseknél általában sokkal pontosabban szokott sikerülni. Fényben nagyon erős színeképeknek, különösen a Nap színeképeinek kimérésénél a fotografiai fölvétel a mérés pontosságára nézve talán nem biztosít lényeges előnyöket. Azonban egészen mások a viszonyok a gyöngeszíneképeknél. Az optikai megfigyeléseknél t. i. bizonyos szóráson túl nem mehetünk, mert különben a fény túlságosan meggyöngül; de fotografiai fölvételeknél ez a határ sokkal messzebbre tolható ki. Ezen a helyen csak ezt az egy előnyt akarjuk kiemelni; az előnyök összességét a könyv más helyén fogjuk kifejteni. A színeképek lefotografálását itt, a mérések tárgyalásánál, csak azért említjük meg, hogy rámutathassunk arra, hogy ezek a mérések a közvetlen mérésektől elvileg nem különböznek. Az észlelő távcső gyújtópontjában levő valós kép helyett a materiális fotografiát méri ki a mikroszkóp alatt. Ez utóbbi mikroszkóp közönséges mikroszkóp, mely vagy okulármikrométerrel van ellátva, tökéletesen hasonlóan az észlelő-távcső okulármikrométerjéhez, vagy pedig a mikroszkóp alatt a szánra helyezett fotografuslemez mikrométercsavar segítségével mérhető módon eltolható.



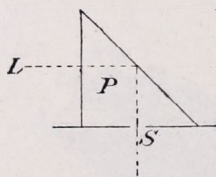
49. rajz.

Ebben az utóbbi esetben a változatlanul szilárdan álló mikroszkóp látómezejében csak fonálkereszt van elhelyezve. Ilyen szerkezetű mikroszkópot mutatunk be a 49. rajzban. Ennél a kimérésnél, teljesen úgy, mint a közvetlen méréseknél, ismeretlen színeképvonalaknak ismertekhez viszonyított helyzetét kapjuk vagy csavarfordulatokban, vagy milliméterekben. A hullámhosszú-



ságok levezetése tökéletesen ugyanazon a módon történik, mint előbb.

Könnyen érthető az a tény, hogy mindenféle mérés bizonyos alsó határig annál pontosabban sikerül, mennél kisebbek a megméréendő távolságok. Ennek oka abban rejlik, hogy mindazok a hibák, a melyek hőmérsékletbeli különbségek, a mérőeszközök elhajlása stb. következtében keletkeznek, annál kisebb mértékben hatnak a mérésre, mennél kisebb a megméréendő távolság. Ezt a tételt a spektroszkópi mérésekre is lehet alkalmazni, ha nem magában a megvizsgálandó színeképben vannak ismert vonalak és ezekhez hasonlítjuk az ismeretleneket, a mint eddig tettük, hanem azáltal, hogy közvetlenül a megméréendő színekép mellett más színeképet létesítünk, melynek vonalai ismeretek és az ismeretlen vonalaknak ezekről az ismert vonalakról való távolságát mérjük meg. Ha az említett második színeképnek olyant választunk, mely vonalakban nagyon gazdag, a milyen pl. a vasé, akkor minden ismeretlen vonal közvetetlen közelében mindig lesz ismeretes vonalunk. Optikai megfigyeléseknél az »összehasonlító színeképet« egyidejűleg és



50. rajz.

közvetlenül az ismeretlen színekép mellett hozzuk létre, legegyszerűbben úgy, hogy oldalt az  $S$  réstől (50. rajz) helyezzük el a kiválasztott  $L$  fényforrást, a rés elé pedig a teljesen visszaverő  $P$  prizmat teszszük, mely a mesterséges fényt a spektroszkópba tereli.

Fotografiai fölvételeknél nem szükséges, hogy mind a két színekép egyidejűleg létesüljön. Itt a mesterséges színeképet a kinntartás elején, közepén vagy végén fotografálhatjuk le a másik mellett. A rés elé helyezett teljesen visszaverő prizma ebben az esetben nem szükséges többé, mert az összehasonlító fényforrást közvetlenül a rés elé is tehetjük. A rés esetleges hajlásának kiküszöbölése céljából előnyös, ha két összehasonlító színeképet állítunk elő a megvizsgálandó színekép két oldalán. Finomabb méréseknél természetesen a vonalak görbültségére is tekintettel kell lenni.

Eddig egészen általánosságban és vázlatosan megismerkedtünk a spektroszkópok és a mérőeszközök szerkezetével. Az eddig

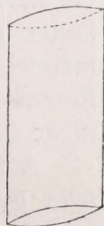
tárgyalt műszerek oly mérésekre alkalmasak, melyeket laboratóriumban végeznek. Most át kell térnünk az eltérések vagy pótlások ismertetésére, melyek akkor válnak szükségessé, ha a spektroszkópot égitestek megfigyelésére akarjuk használni. Itt mindjárt előre bocsátjuk, hogy a közönséges napszínkép megfigyelése vagy mérése az eddig leírt műszerekkel laboratóriumban végezhető. Ehhez nem szükséges egyéb, mint hogy a Nap fényét alkalmas tükör (héliosztát) segítségével az észlelőhelyiségbe vetítsük. Azt is kiemeljük, hogy más égitestekre való alkalmazásnál is az eddig megbeszélt szerkezetek elvben nem módosulnak.

#### ÖTÖDIK FEJEZET.

### A csillagászati spektroszkópok.

Az égitestek színképelemző vizsgálatára a különböző szerkezetű spektroszkópok egyaránt használhatók és pedig abban az esetben, midőn az égitest látszólagos kiterjedése nem észrevehető, mint pl. állócsillagoknál és kis bolygóknál. Ilyenek megfigyelésénél résre nincs is szükség, mert maga a pontszerű csillag mint a rés része szerepel. Ellenben nem nélkülözhető a rés a nagyobb kiterjedésű égitesteknél, a milyenek pl. a Nap, Hold, üstökösök, nagyobb bolygók és ködfoltok.

Pontszerű fényforrások színképe vékony, vonalszerű, s már rámutattunk arra, hogy ilyen vonalalakú színképben részletek nem ismerhetők fel. Ennek oka szemünk élettani sajátágában rejlik. A színképet ennél fogva mesterségesen kell szélesbítenünk hengerlencse segítségével. A hengerlencse nem gömbszerűen görbül, mint a közönséges lencsék, hanem úgy, mint a henger, csak egy irányban; innét kapta nevét is. A közönséges hengerlencse alakja az 51. rajzon látható.



51. rajz.

Minthogy a hengerlencse elmélete nagyon bonyolult, azért itt részletesebben nem foglalkozhatunk vele. A megértéshez elég lesz az a megjegyzés, hogy a hengerlencse nagy mértékben asztigmatikus, a mennyiben homocentrikus fénynyalábot két,



erősen különböző távolságban egyesít képpé. Ezeknek egyike azoktól a sugaraktól származik, a melyek a henger tengelyére merőlegesen érkeznek, másika pedig a tengelyhez párhuzamosan érkező sugaraktól keletkezik. Ennélfogva az egyik helyen a világító pont képe oly vonal lesz, mely a henger tengelyével párhuzamos, s ez a főgyújtóvonal, a másik helyen pedig erre merőleges vonal lesz a kép, s ez a mellégyújtóvonal. Ha tehát a hengerlencsét akként állítjuk, hogy a színekép a gyújtóvonalak egyikében létesüljön oly módon, hogy a gyújtóvonal a színekép irányára merőlegesen áll, akkor a színekép szalaggá fog szélesbedni, anélkül, hogy a hosszirányban akármilyen változás is történnék. A vonalszerű csillagszínekép sötét vagy fényesebb csomóit a hengerlencse valószínűságos vonalakká húzza széjjel, aminőket rendszeren csak kiterjedt tárgyról lehet kapni. A színekép kiszélesedése természetesen a fényerősség csökkenését vonja maga után; de a hengerlencse minden pontszerű tárgynál elkerülhetlenül szükséges. Az, hogy a sugarak útjának melyik helyén kell ezt a lencsét közbeiktatni, minden esetben külön megállapításra szorul.

Az égneek minden spektroszkópi megfigyelésénél különös hatása van a távcső tárgylencséje tökéletlen szintelenítésének. Itt nagyon zavaró az a körülmény, hogy az ú. n. szintelenítő vagy achromatikus tárgylencse nem egyesíti egy pontba az összes sugarakat, hanem hogy minden sugárfajtának vagy színnek saját külön gyújtótávolsága van. Mennél nagyobbak a tárgylencse méretei, annál nagyobb általában ez a zavaró hatás. Tükörteleszkóp használatakor azonban ez a zavaró körülmény megszűnik, mert itt az összes színes sugarak teljesen egyesülnek.

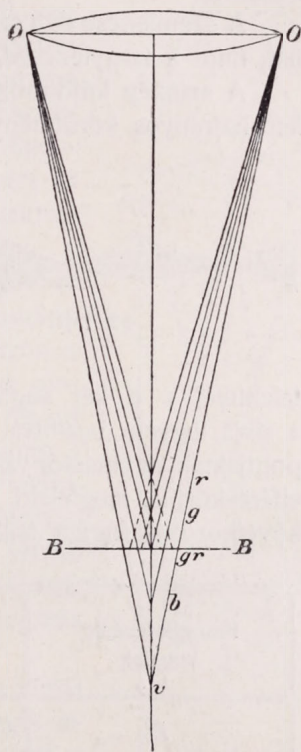
A tárgylencsének a különböző színű sugarak számára érvényes gyújtópontjai az optikai tengelyen fekszenek bizonyos távolságokban egymás mögött. A tárgylencséből kilépő különböző színű sugarak határfelületei tehát mindmégannyi különböző magasságú kúppalástok, melyek egymást borítják és a melyeknek közös alapja a tárgylencse.

Az optikai tengelyre merőleges sík, mely pl. a zöld sugarak alkotta kúp csúcsán megy keresztül, a mely tehát ezeknek a sugaraknak a gyújtósíkja, a többi sugarak kúpjaik kis körökben fogja metszeni, az ú. n. színi eltérés köreiben, melyeknek átmérője természetesen függ a kapcsolatos gyújtópontoknak a

választott gyújtóponttól (példánkban a zöld) való távolságától (52. rajz).

Az egyes gyújtópontok távolsága egymástól általában annál nagyobb, mennél nagyobb a tárgylencse gyújtótávolsága, de egyes adott esetben teljesen a tárgylencse szerkezetétől és különösen a választott üvegfajtáktól függ. A közönséges tárgylencsét úgy készítik, hogy a szemre legjobban ható sugarak, tehát a narancs, sárga és zöld számára achromatikusak legyenek; azért itt ezeknek a sugaraknak a gyújtópontjai elég közel egybeesnek, míg a kék- és ibolyaszínű sugarak gyújtópontjai egymás mögött és távolabb fekszenek. A fotográfiában használatos tárgylencsék a chemiaailag ható (kék és ibolya) sugarak számára vannak színtelenítve, ezért természetesen a gyújtópontok ellenkezőképpen viselkednek, mint az előbbi esetben. A tárgylencsék e tulajdonságának az a következménye, hogy a csillag csak olyan sugarak számára lehet pontalakú és lesz lehető legkeskenyebb a színeképe hengerlencse alkalmazása nélkül, a mely sugaraknak a gyújtósíkja egybe esik a rés síkjával. A színekép összes többi részei többé-kevésbé kiszélesedettnek fognak látszani. A pontszerű csillag kiszélesedése bizonyos színeknél különbözőképpen nyilvánul a szerint, a mint magát a csillagot használjuk résként, vagy nem. Az első esetben a megfelelő helyeken a rés — valójában a csillag — túlszéles, a színekép nem lesz tiszta, a színeképvonalak elmosódnak és végül teljesen el is tűnnek.

Magától értetődik, hogy réssel ellátott spektroszkópoknál a fonászerű színekép ugyanígy szélesedik ki, csak hogy ez a szélesedés hatástalan a színekép tisztaságára, mert ez a rés szélességétől függ. A kiszélesedett helyeken azonban az összes fénynek



52. rajz.

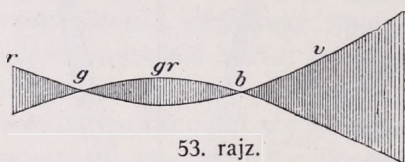


csak csekély töredéke jut a résbe, a többit a rés lemezei tartják vissza, ezért a színek megfelelő helyei fényben aránytalanul gyöngék.

Oly tárgylencsénél pl., a melyeknél a zöld és sárga sugarak egyesítve vannak, a színek alakja az 53. rajzban ábrázolthoz hasonló.

A szemlencse és a szem hibás achromatizmusa épp oly módon hat, mint a tárgylencséé, a melyhez hozzáadódik.

A színek különböző részeinek vizsgálata alkalmával az előbb leírt hátrányos körülmények kikerülése céljából a spektroszkópot



53. rajz.

a színek mindenegyes része számára mindig külön be kell állítani. Vegyünk pl. 30 cm nyílású és 5·4 m gyújtótávolságú tárgylencsét. Ez a lencse a sárga ( $D$ -vonal) és a zöldeskék ( $F$ -vonal) színek számára legyen szín-

telenítve, s e két sugár gyújtósíkjába a spektroszkóp részének a síkja legyen beállítva. Akkor az említett fénysugarak gyújtópontjainak egymástól való távolságára milliméterekben és a színes eltéréskörök megfelelő sugaraira ugyancsak milliméterekben, a következőket fogjuk találni:

Fraunhofer-féle vonalak	Gyújtótávolságok különbsége	Színeskörök sugarai
$B$	+ 3·6	0·12
$C$	+ 2·4	0·08
$D$	0	0·00
$E$	— 0·7	0·03
$F$	0	0·00
$H_{\gamma}$	+ 8·2	0·26
$H_{\delta}$	+ 16·3	0·47
$H_{\varepsilon}$	+ 22	0·7

Ha például  $H_{\gamma}$ -nál akarnók a színeképet megfigyelni, akkor a spektroszkópot 8·2 mm-rel kellene rendes helyzetéből eltolni,

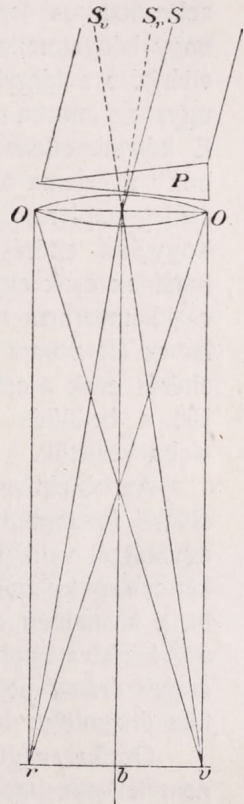
mert különben a csillag képének már  $\frac{1}{4}$  mm nagyságú sugara lenne és a szűk résen át már nem jutna elegendő mennyiségű fény.

A csillagspektroszkópoknak három fajtáját szokás megkülönböztetni. Közülök a két első csak pontszerű fényforrásokra alkalmazható, mert résük nincsen. Az első alaknál a prizma a refraktor tárgylencséje előtt van elhelyezve s ezért ezt a műszert objektívprizmának nevezik. A második alaknál a prizma az okuláron foglal helyet, ezért okulár-spektroszkópnak nevezik. Végül a harmadik típusnál rést és kollimátort alkalmaznak, ezért az ilyen spektroszkópot összetett csillagspektroszkópnak nevezik.

Az *objektívprizma* a csillagspektroszkópok legrégebbi és egyszersmind a spektroszkóp legegyszerűbb alakja, mert pontosan azonos oly színeképelemző készülékkel, melynek nincsen kollimátorlencséje és a melynél a rés (itt a csillag) oly nagy távolságban van, hogy a belőle kiinduló sugarak párhuzamosaknak tekinthetők. A csillagtól érkező sugarak előbb a prizmán átmenve megtöretnek és azután a távcső tárgylencséje egyesíti őket. A mellékelt 54. rajz a vörös ( $r S_v$ ) és az ibolya ( $v S_v$ ) sugarak menetét mutatja be.

A csillagtól érkező homocentrikus vörös sugárnyalábot a prizma bizonyos szöggel eltéríti, mely kisebb, mint az a szög, melyet a csillag iránya és a távcső optikai tengelye egymással bezárnak. A tárgylencse ezeket a sugarakat a gyújtósík  $r$  pontjában egyesíti, az ibolyaszínű sugarakat  $v$ -ben. A többi pontok, a melyekben sugarak egyesíttetnek, e kettő között fekszenek folytonos egymásutánban. A tárgylencsének nem tökéletes achromatizmusa következtében nem vonalalakú színekép keletkezik, hanem olyan, a milyent az 53. rajz mutat.

Ha objektívprizma alkalmazásánál a távcső fényerejét tel-



54. rajz.



jesen ki akarjuk használni, akkor a prizmának akkorának kell lennie, a mekkora a tárgylencse teljes nyílása. S ez egyik főoka annak, a miért az objektívprizmákat aránylag kevésbé használják. Ismeretes, hogy sík üvegfelület sokkal nehezebben állítható elő, mint ugyanolyan méretű gömbfelület; ezért az objektív-prizma rendesen drágább, mint az ugyanolyan nagyságú nem achromatikus lencse. Az objektívprizma használata azonkívül nagy kényelmetlenséggel jár, mely onnan származik, hogy a fény eltérítése a tárgylencse előtt következik be. Ezért a távcső iránya ugyanaz, mint a megtört sugaraké és nem a célbavett fényforrásé. E kényelmetlenség csökkentésére természetesen az szükséges, hogy a prizma törő élét vagy pontosan párhuzamosan állítsuk a csillag napi mozgásához, vagy erre pontosan merőlegesen, úgy hogy az eltérést a parallaktikusan fölállított távcső főkoordinátáinak csak egyikénél kelljen számításba venni. Itt a gyakorlat csakhamar arra tanít meg bennünket, hogy a legelőnyösebb az, ha az élt a napi mozgáshoz párhuzamosan állítjuk, úgy hogy az eltérés csak a csillag deklinációját befolyásolja. Az eltérést mindjárt a beállítás alkalmával a távcső deklinációs körén számításba vesszük.

Az objektívprizma mérőműszernek is jól használható. Ha a távcső fonálmikrométerrel van ellátva, segítségével a vonalnak egymástól való távolságát tökéletesen úgy mérhetjük meg, mint két csillag közti távolságot. De méréseket még akkor is tehetünk, ha a távcsőben csupán fonálkereszt lenne. A távcsövet rögzítjük, a színekép a napi mozgás következtében elvonul a fonal alatt s ezalatt órával megfigyeljük az időt mikor a színeképvonalak a fonálhoz érkeznék.

Optikai megfigyeléseknél az objektívprizmák használata majdnem teljesen megszűnt. Ellenben a fotográfia alkalmazásánál az objektívprizma rendkívüli előnyöket nyújt minden más szerkezet fölött, különösen mikor az ég spektroszkópi kutatásának feladatáról van szó. Ennél a feladatnál csak a színeképtípusok megállapítása a cél, ennél fogva a szórás igen kicsinyre vehető, a mivel azután nagy fényerősséget lehet elérni. A nagy látómező itt azért előnyös, mert egyszerre sok, esetleg több száz csillagszíneképet lehet a lemezre fotografálni. A csillagok utólagos azonosítása nem jár nehézségekkel, mert a színeképek a lefotografált égtérkép teljes

konstellációját tükrözik vissza. Ez az eljárás rendkívül nagy időmegtakarítást jelent.

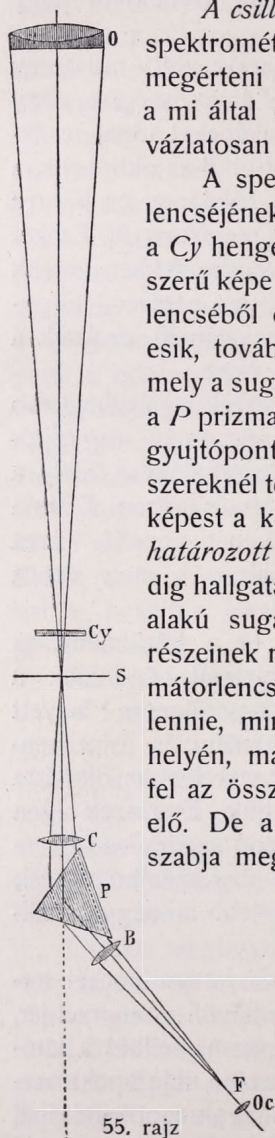
Az *okulárspektroszkópok* az eddig szerkesztett műszerek között mindenesetre a legkényelmesebbek. Fényerősségük nagy és gyengébb szórás mellett is igen éles színeképeket adnak, csak-hogy nem alkalmasak finomabb mérésekre. Ebből az okból ritkán készítik úgy, hogy nagy szórásuk legyen és főképpen csak arra használják, hogy a színekép általános jellemét megismerjék. Ezeket a műszereket kizárólag egyeneslátású prizmarendszerrel szerelik fel, különösen abból a már ismert okból, hogy a távcső tárgylencsétől érkező erősen összehajló sugárnyalábnál ezeknek a prizmáknak az asztigmatizmusa nem vehető észre.

Az okulárspektroszkópoknál az optikai részek legalkalmasabb sorrendje a következő: a refraktor tárgylencséje, mely a gyújtópontban a csillag valódi képét hozza létre; nagyítólencse, mely a csillag virtuális képét állítja elő az éleslátás távolságában. Ezután következik a hengerlencse, mely a csillag képét vonallá húzza széjjel. Csak most jön azután a prizmarendszer, a mely ezt a vonalat színeképszalaggá szélesíti.

Ez az elrendezés egyszerűsíthető, s ez a körülmény az okulárspektroszkópnak nagy jelentőséget biztosít. Tudniillik a tárgylencse gyújtópontja mögé helyezett nagyítólencse helyett magának a távcsőnek az okulárját lehet használni és a prizmarendszert a hengerlencsével együtt tokba szerelve az okulárra tetszés szerint rátehetjük és ismét levehetjük. E részek igen kicsinyre méretezhetők, mert az okulárból kilépő sugárkéve szélessége csekély, t. i. sohasem nagyobb, mint az ember szembogarának nyílása gyöngé fénybenyomásoknál, tehát legföljebb mintegy 8 milliméternyi.

Az a könnyűség, a melylyel a prizmát és hengerlencsét tartalmazó tok föltehető és levehető, azzal a rendkívüli előnnyel jár, hogy a megvizsgálandó csillagokat először prizma nélkül a látómező közepébe hozhatjuk és azután a tok rátevése után spektroszkópi tekintetben figyelhetjük meg. Ezáltal a csillagok azonosításánál jelentkező nehézségek vagy összecserélések lehetőleg elmaradnak. Ha több tok áll rendelkezésünkre különböző erősségekkel szóró prizmarendszerrel, akkor nehézség nélkül minden esetben a legjobb szórást választhatjuk ki.





*A csillagspektrométerek.* Azok után, a miket eddig a spektrométerekről általánosságban mondtunk, könnyű megérteni a távcsövön való alkalmazásuknak módját, a mi által csillagspektrométerekké válnak. Az 55. rajz vázlatosan mutatja az egyes részek elrendezését.

A spektrométer *S* részét pontosan a refraktor tárgylencsájének gyújtópontjába helyezzük, előbb azonban a *Cy* hengerlencsét iktatjuk közbe, mely a csillag pontszerű képe helyett vonalakú képet vetít a résre. A tárgylencséből érkező sugárkúp, melynek csúcsa a résbe esik, további útjában a *C* kollimátor-lencséhez érkezik, mely a sugarakat párhuzamossá teszi. Ezután következik a *P* prizma és az észlelő távcső, melynek tárgylencsége *B*, gyújtópontja *F* és okulárja *Oc*-ben van. Az előbbi műszereknél tett megjegyzések szerinti megfontolásokhoz képest a különbség mindössze abban áll, hogy itt most *határozott alakú* sugárkéve esik a résre, míg előbb mindig hallgatagon szétszórt fényt tételeztünk fel. Ez az adott alakú sugárkéve a spektrométer többi optikai alkotórészeinek méreteit annyiban szabja meg, hogy a *C* kollimátorlencse átmérőjének sohasem szabad kisebbnek lennie, mint a mekkora a sugárkéve átmérője a lencse helyén, máskülönben a kollimátorlencse nem foghatná fel az összes sugarakat s ezáltal fényvesztesség állana elő. De a sugárkéve alakját a refraktor tárgylencsége szabja meg, még pedig különösen ama viszony' által, mely a lencsenyílás és a gyújtótávolság nagysága között megállapítható. Ha ez a viszony pl.  $\frac{1}{15}$ , akkor a kollimátorlencsénél a kellő viszony sohasem lehet kisebb, tehát nem lehet pl.  $\frac{1}{20}$ , de lehet nagyobb, pl.  $\frac{1}{10}$ .

Ahhoz, hogy lehetőleg szűk rés mellett lehető legnagyobb fényerősséget érzünk el, szükséges, hogy a rést igen pontosan a tárgylencse gyújtósíkjába helyezzük, mert e helyen a sugárkúp átmérője a lehető legkisebb. Minthogy a tárgylencse achromatizmus tökéletlen, azért ezt a beállítást minden színre külön

kell elvégezni. A gyújtótávolság a hőmérsékletváltozásokkal is változik, a rés távolságát tehát ehhez képest is meg kell változtatni. Mindezt kényelmesen csak úgy lehet elérni, ha a távcsőnek, a melyre a spektroszkóp szerelve van, okulárrésze mérhető módon eltolható.

A hengerlencsét legalkalmasabban a rés elé, a tárgylencséből érkező sugárkúp útjába helyezzük, úgy, hogy a résen a csillag képe vonal alakjában jelenik meg, természetesen a réssel párhuzamosan.

Ahhoz, hogy a csillag képe állandóan a résre essék, elengedhetlenül szükséges jól szerelt, pontosan működő, parallaktikusan felállított refraktor. Szerény segédeszközökkel csillagszínképvizsgálatokra vágyni, különösen ha összetett csillagspektrométerről van szó, egyáltalán nem ajánlatos.

De mindenesetre szükséges, hogy a rés a csillag napi mozgásához párhuzamosan álljon, mert ekkor a távcsövet mozgató óraszerkezet kisebb ingadozásai ártalmatlanná válnak és csak időről-időre kell tekintetbe venni azokat a változásokat, a melyek az óramű hibás járásától származnak. Minthogy a légkör okozta sugártörés a (látóhatártól számított) magasság szögével változik, de a refraktor felállításának esetleges hibái miatt is, a beállítást a deklináció értelmében, bár aránylag ritkán, változtatni kell.

A csillagspektrométeren a mérésre szolgáló berendezések ugyanolyanok, mint azok, a melyeket a spektrométernél tárgyalunk. Azért itt ezekkel nem szükséges behatóbban foglalkoznunk.

*Csillagspektrográfoknak* nevezzük az olyan csillagspektroszkópokat, a melyeknél az okulár és mikrométer helyét kasszetta foglalja el, úgy, hogy a fotografus-lemez az észlelő távcső gyújtósíkjával esik egybe. A lemezen tehát a színkép valós képe fotografálódik le. A közvetlen optikai módszerrel szemben a fotografiai módszer alkalmazása bizonyos kiegészítésekre ad alkalmat és azonkívül különféle közvetlen előnyöket biztosít. A kiegészítések abban állanak, hogy a fotografián mindenekelőtt a színképnek a kéktől az ibolyántúli részig terjedő darabja is kifejezésre jut, a mely gyengébb fényforrásoknál az optikai módszernek teljesen hozzáférhetetlen; azonkívül a vöröstől a zöldig terjedő rész fény iránt érzékeny lemezek segítségével fotografailag szintén érté-



kesíthető. A fotografiai módszer előnyei pedig a következők: nagyobb fényerősség, hosszabb kinntartásidő alkalmazása, a mérés nagyobb pontossága és végül a levegő nyugtalanságának kevésbé ártalmas hatása.

A nagyobb fényerősséget az a körülmény okozza, hogy fölöslegessé válik a fotografiai színeképet hengerlencsével kiszélesíteni. A lefotografált színekép akármilyen keskeny lehet, a mérőmikroszkópban a vonalak fényes vagy sötét csomók alakjában egészen határozottan felismerhetők. A hengerlencse elhagyásával a fényerősséget öt-, sőt tízszeresére fokozhatjuk. Ha fényesebb csillagoknál a szebb alak kedvéért kiszélesített színeképeket akarunk lefotografálni, akkor használhatunk hengerlencsét. De ajánlatosabb, ha a kiszélesedést egyszerűen azáltal érjük el, hogy a csillag képét nem pontosan a rés közepére vetítjük, hanem a rés mentén egy darabig tovahaladni engedjük. A később leírandó berendezés segítségével különben vonalszerű színeképről utóbb kiszélesített másolatokat készíthetünk.

Hosszú kinntartásidők előnyének megértéséhez arra kell emlékeztetnünk, hogy a közvetetlen látás és a fotografiai kép között elvi különbség van. Valamely tárgyat csak akkor tudunk felismerni, ha a környezethez viszonyított ellentétessége bizonyos értéket túlhalad. Spektroszkópi vizsgálat esetében maga a színekép teljesen fekete háttéren jelenik meg, a szemben azonban a szem sajátos feketeségének háttérén (l. az I. szakaszt) látszik és ezért bizonyos fénygyöngöseség mellett a színekép ebből a háttérből már nem fog kiválni, minek következtében a színekép láthatatlan marad, bármilyen hosszú ideig nézünk is a spektroszkópba. A szem *fényintenzitásokat* lát. A fotografus-lemez számára azonban a háttér teljesen sötét, az ellentét maga tehát nagyobb; de a legfontosabb az, hogy a lemez fény mennyiséget »lát«, ez pedig az intenzitás és az idő szorzata. Ha például bizonyos kicsiny intenzitás mellett öt perces kinntartás még nem elegendő a fotografiai kép létrehozására, akkor esetleg egy órás vagy ennél nagyobb kinntartásidő elég lesz. A fényérzékenység határai a kinntartás idejének folytonos növelésével tetemesen szélesbíthetők.

Színeképek fotografiai fölvételénél a fényerősségbeli nyereség oly nagy, hogy ezt sok esetben nem is kell teljesen kihasználni.

nunk, hanem nagyobb részét a mérések fokozottabb pontossága javára feláldozhatjuk. Élesebb részletek elérése céljából tehát ugyanannál a csillagnál nagyobb szórást vagy szűkebb rést alkalmazhatunk, mint a közvetetlen észlelésnél. Ehhez járul még a mérésnek amúgy is nagyobb pontossága, melyet annak köszönhetünk, hogy mikroszkóppal a mérésműveleteket nappal, nyugodt és kényelmes helyzetben végezhetjük. Itt főleg az mértékadó, hogy a levegő nyugtalanságának hatása kevésbbé érvényesül. A levegő nyugtalanságának mint zavaró tényezőnek minden csillagászati megfigyelésnél nagy hatása van, különösen pedig a spektroszkópi észleléseknél. Ezért itt kissé behatóbb tárgyalást kell ennek a fontos tényezőnek szentelnünk, annál is inkább, mert népszerű csillagászati könyvekben csak mellékesen foglalkoznak vele, bár éppen ez a tényező az, a mely a sokat emlegetett csillagászati megfigyelő-művészetet a kellő világításba helyezi.

A levegő nyugtalan-sága csak akkor keletkezhetik, ha a fény-sugár útjába különböző hőmérsékletű levegőrétegek esnek, a melyek egymással elegyednek. Az a mindig meglevő folytonos átmenet az alsó melegebb levegőtől a felső hidegebb rétegekhez nem von szükségképpen maga után észrevehető levegőnyugtalan-ságot, legalább addig, a míg az átmenet csakugyan folytonos és nem ugrásszerűen megy végbe. Ellenben erős levegőnyugtalan-ság mindig akkor létesül, ha nagyon különböző hőmérsékletű levegő-rétegek érintkeznek, a mi pl. akkor áll be, mikor alacsony levegő-hőmérséklet mellett a felsőbb tájékokban meleg szél fúj, vagy pedig, ha a felhevített talajból a megmelegített levegő fölfelé emelkedik.

Mikor olyan levegőrétegek keverednek össze, a melyeknek hőmérséklete különböző s ennél fogva törésmutatójuk is más és más, akkor ereződés keletkezik, hasonlóan azokhoz, a melyeket akkor látunk, mikor két különböző törésmutatójú folyadék keveredik össze. Ezeknek az ereknek az alakja általában nem gömb-felület, hanem görbületük tetszőlegesen különféle lesz és gyorsan fog változni. De azért ezeknek az ereknek kisebb részeit, például olyanokat, a melyek kicsiny vagy közepes távcső tárgylencséjének felelnek meg, mindig olybá vehetjük, mintha gömbi görbületűek volna. Az ereződés illetén részének középső gömbi sugara (radius), mely éppen útjába esik a távcső felé haladó



fénysugárnyalábnak, általában nem fog a látóvonal irányába esni, hanem ezzel szöget zár be, úgy hogy a keletkezett léglencse (az említett alakzat itt lencsének tekinthető) ferdén áll a távcső tárgylencséjéhez képest. Ez a fénynyalábnak oldalt való eltérését vonja maga után, melynek következtében a csillag képe nem a látóvonalban, hanem a látóvonal mellett fog látszani. Így tehát a léglencse folytonos helyváltozásai következtében a csillag képe rezgésszerű mozgásokat végez közepes helye körül. A levegő nyugtalanságának ez az egyik következménye, mely erős nagytávcsőknél érezhető a legjobban. Színképészleléseknél ezek a zavarok különféleképpen nyilvánulnak, a szerint, a mint összetett, vagy egyszerű spektroszkóppal van dolgunk. Az objektívprizmánál és az okulárspektroszkópnál a csillag ide-oda ringása a színkép hosszkitérése irányában hat, hasonlóan ahhoz, mikor a rést tágabbra vesszük; a vonalak szélesebbé válnak és jobban elmosódnak. A csillagspektrométernél a vonalak nem szélesednek meg ilyenformán, mert erre a rés változatlan szélessége mértékadó. Ellenben a színkép fényereje folyton változni fog. Ha a csillag lengései nagyok, megeshetik, hogy képe pillanatra teljesen a résen kívül esik, s a színkép ekkor teljesen eltűnik. Nagy távcsöveknél ez könnyebben fog bekövetkezni, mint kicsinyeknél, mert az előbbieneknél az ingadozások látszó mérete nagyobb, mint a kis távcsöveknél.

A távcső előtt folyton változó és folyton megújuló léglencse még a gyújtótávolság megváltozását is maga után vonja, és pedig meghosszabbodását vagy megrövidülését, aszerint, a mint a léglencse kifejezetten homorú vagy domború. Csillagászati megfigyeléseknél a levegőnyugtalanságnak ez a második hatása a csillag folytonos felfuvódásában vagy hullámozásában nyilvánul.

Résnélküli spektroszkópnál ebből a színképnek folyton változó határozatlansága keletkezik, mert hiszen a színképvonalak épp olyan módon szélesednek, mint a csillag képe maga. A csillagspektrométernél lényegében szintén csak fényerősségváltozás fog létrejönni. A légnyugtalanság okozta zavaroknak eddig említett alakjai oly erősek lehetnek, hogy minden észlelést lehetetlenné tesznek.

Ezekhez csatlakozik most a levegő nyugtalanságának egy

harmadik fajtája is, mely a távcsővel való méréseknél majdnem teljesen ártalmatlan, de színeképszéleléseknél a legzavaróbban hat. Ez a csillagok ú. n. pislogásával (szcintilláció) kapcsolatos színváltozásoknak következménye.

Ez a színváltozás abban áll, hogy a levegő állapota és a csillagnak a látóhatár feletti magassága szerint a csillag gyorsan változó egymásutánban a színekép különféle színeiben látszik felvillani, miközben némelykor két szín között a fény teljesen kialszik. Ezáltal a színekép különböző színei gyorsan változó fényességben egymásután feltűnnek, a mi a spektroszkópban mint a színekép folytonos hullámszála vagy lebegő mozgása jelentkezik. Ez a mozgás, bár egyáltalán nem azonos a színekép valószínű ingásával, mégis a legnagyobb mértékben bántja a szemet, és ha csak némileg erősen jelentkezik, a csillagszíneképek észlelését teljesen megakadályozza. Ennélfogva a csillagok színeképének közvetlen megfigyelése sokkal nagyobb mértékben függ a levegő állapotának jószágától, mint a többi csillagászati megfigyeléséé.

A színekép egyáltalában sohasem teljesen mentes ilyen hullámszáloktól, ezért még különben jeles megfigyelőnek is ritkán sikerül mindjárt az első alkalommal részleteket felismerni a csillagszíneképben.

Nagynyílású távcsőre az előbbi megfontolások azzal a módosítással érvényesek, hogy a nagyobb felület következtében a zavarok a tárgylencse különböző részei számára különbözők lesznek. Megeshetik pl. az, hogy egyidejűleg a tárgylencse egyik része a csillag képét balra tolja el, másik része pedig jobbra; egyik részében a gyújtótávolság meghosszabbodik, másikában megrövidül. Ennek azután az a következménye, hogy nagy tárgylencsénél a csillag képe erősen torzul és ehhez képest a nyugtalan levegő hatása a színeképmegfigyelésekre annál nagyobb, mennél nagyobb a távcső nyílása.

Még meg kell jegyeznünk, hogy a levegő nyugtalanságának okát itt csak vázlatosan tárgyalhattuk. Sohasem fog előfordulni, hogy a sugarak útjába csak egyetlen levegőlencse kerül, hanem egyszerre mindig több, de ezeknek összehatását közelítőleg egyetlen léglencsével lehet megvalósítani, melynek görbülete az egyes léglencsék görbületeiből tevődik össze.



Színképek lefotografálásánál a levegő nyugtalanságának sokkal csekélyebb hatása van, mint a közvetlen szemléletnél. A fény iránt érzékeny réteg a kinntartásnál az összes külön mozzanatoknak valami közepes képét jegyzi fel. Ha a színkép tökéletesen nyugodt, akkor a fotografia oly éles, a mennyire azt a műszer optikai részei és a lemez ezüstrészecskéi lehetővé teszik. Ha ingadozások mutatkoznak, mint pl. a résnélküli spektroszkópnál, akkor olyan közepes kép létesül, a melynél az ingadozások amplitudójukkal arányosan elmosódottságot idéznek elő. Legfontosabb azonban az a körülmény, hogy a színkép »lebegése« s fényességének folytonos változása, melyek a megfigyelésnél oly bántóan hatnak, a fotografiai fölvételnél már csak annyiban jönnek tekintetbe, hogy a színkép közepes fényerejét csökkentik; e hátrány azzal szüntethető meg, hogy a kinntartás idejét növeljük. Mindazonáltal a levegő állapota olyannyira rossz is lehet, hogy végül még a fotografiai fölvétel is lehetlenné válik.

Fotografiai fölvételekre és értékesítésükre vonatkozó további részletek a csillagászati fotográfiát tárgyaló fejezetben olvashatók.

Főleg a színképek fotografiai fölvételénél különös nehézséget az okoz, hogy a megvizsgálandó csillag képét szükségszerűen hosszabb időn át pontosan a spektroszkóp résén kell tartanunk. Ennek elérésére különféle módszerek szolgálnak, a melyeknek legjobbjait röviden le fogjuk írni. Valamennyi módszernek föltétele, hogy a távcsövet parallaktikusan állítsuk fel és forgatását jól szabályozható óramű végezze. Azt, hogy eközben a spektroszkóp részének a csillag napi mozgásához párhuzamosan kell állania, már említettük. Ahhoz, hogy egyáltalában sikerüljön a megfigyelendő csillagot a spektroszkóp részére hozni, a refraktorra szerelt, jól beigazított kereső távcső elengedhetlenül szükséges. Azáltal, hogy a kereső fonálkeresztjét a csillagra beállítjuk, el fogjuk érni azt, hogy a csillag képét lehetőleg a rés közelébe hozzuk. A rektaszccenzió mentén a beállítást könnyen el lehet érni, azután a refraktort már csak a deklináció mentén kell kevéssé ide-oda mozgatni, hogy a színképet felvillanni lássuk. A további irányítás különféle módszerek szerint történhetik. Nagyobb távcsöveknél többnyire segéd jelenléte is szükséges.

*1. módszer.* A rést alkotó lemezek síkalakra vannak csiszolva és finoman fényezettek úgy, hogy jó tükörként működnek. A tükör síkja a rés felé hajlik, még pedig a rés hosszirányára merőlegesen úgy, hogy a távcsőből jövő sugarak oldalt verődnek vissza. Ha a visszavert sugarak útjába nagyító lencsét helyezünk, vagy pedig kisebb távcsövet, a mi az elérhető nagyobb távolság miatt még kényelmesebb, a látómezőben látjuk a csillagokat és ugyancsak élesen fekete vonal alakjában a rést is. A megfigyelendő csillagot a résre állítjuk be, a melyben eltűnik, vagy legalább is fényben erősen meggyöngül és így folytonosan meggyőződhetünk arról, hogy a csillag nem hagyta-e még el a rést. Színképek fotografiai fölvételénél ez a módszer különösen ajánlatos. Közvetetlen optikai megfigyelésnél külön berendezésre egyáltalában alig van szükség, mert magának a színképnek eltűnéséről vesszük észre, hogy a csillag mikor hagyja el a rést.

*2. módszer.* A prizma elülső lapjáról visszavert és a színkép számára amúgy is elveszett fényt kicsiny távcsővel fogjuk fel, melyet végtelenre állítunk be azért, mert a kollimátorból a sugarak párhuzamosan lépnek ki. Ha a csillag benn van a résben, akkor benne a csillagot élesen látjuk, s ha azonfelül a rés meg van világítva, a csillag úgy tűnik fel, hogy fényes vonalon rajta van, és most már pontosan célban tartható. A csillag visszavert képének csekély fényereje miatt (az eredeti fényerősségnek mintegy 5%-a) ez a módszer csak fényes csillagoknál alkalmazható, de ezeknél nagyon kényelmes és megbízható.

*3. módszer.* A színkép ama részében, melyet nem akarunk fotografiai úton tanulmányozni, pl. a vörös részben, teljesen visszaverő prizmát és nagyítót helyezünk el, a melyeknek segítségével a színképnek ezt a részét a kinntartás ideje alatt szemmel tart-hatjuk, hogy a csillag jól esik-e a réstre?

*4. módszer.* Ez a módszer valamennyi között talán a legjobb, de kivételéhez modern kettős refraktor használata szükséges. A csillagot pontosan a résre hozzuk és egyszersmind a vezető távcsőben a fonálkeresztet is pontosan a csillagra állítjuk be. A kinntartás ideje alatt a csillagot a fonálkeresztben tartjuk, s akkor bizonyosak vagyunk arról, hogy a résen is folyton rajta volt.



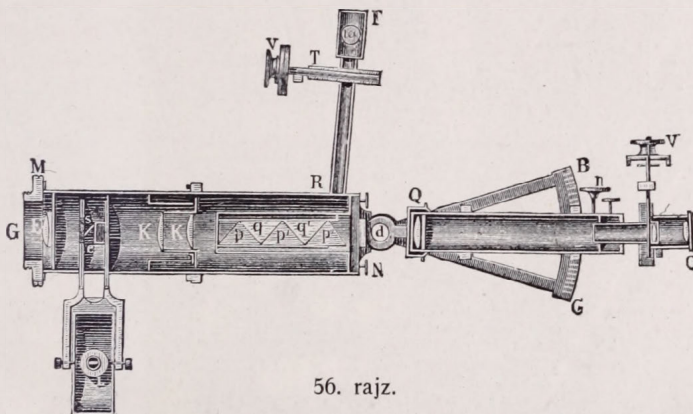
Ezt a módszert akkor fogjuk jobban megérteni, ha majd a csillagászati fotográfiáról szóló fejezetben a fotografiai kettős refraktorok szerkezetével megismerkedtünk.

A gyakorlatban a spektrográf optikai részeinek legjobb kivitele is hiábavaló marad, ha a műszer nem teljesen stabilis, azaz ha a némelykor több óráig tartó kinntartás ideje alatt a műszerben változások észlelhetők, melyek a színek helyzetét a lemezen lassanként eltolják. Ezáltal a vonalak kiszélesednek és elmosódnak, a mi károsan hat a színek tisztaságára és feloldhatóságára. De a csillagszínkép a többnyire csak néhány pillanatig exponált összehasonlító színképhez képest is eltolódik, a mi a levezetett hullámhosszúságok rendszeres megváltozását vonja maga után. Modern spektrográfoktól stabilitás dolgában sokat követelünk: a káros eltolódásoknak nem szabad a milliméter néhány ezredrészét túlhaladniuk.

Ezeket az eltolódásokat két okra vezethetjük vissza. Első ok a műszer görbülése, mely a műszer helyzetének lassú változásával együtt maga is változik, a másik ok pedig az egyes alkotórészek hőmérsékletváltozás okozta torzulásai és a törésmutatók változásai. Ahhoz, hogy az első okot lehetőleg ártalmatlanná tegyük, szükséges, hogy a spektrográf nagyon szilárdan és mereven legyen készítve, különösen szükséges, hogy a kollimátor és a kamara lehetőleg szorosan függjön össze egymással. A hőmérséklet káros hatásainak elkerülésére szintén nagyon kedvező a szerkezet szilárdsága. De az optikai részekben végbemenő változások sohasem kerülhetők el, a míg vannak hőmérsékletváltozások s nyitott kúpokban ilyenek mindig vannak. A hőállapot állandósága azzal biztosítható, hogy a spektrográf belsejében állandó hőmérsékletet állítunk elő, a mit mesterséges fűtéssel lehet elérni, a mely olyanformán történik, mint a biológiai vizsgálatoknál már régóta használatos önműködően szabályozódó termostatoknál. A spektrográfoknál a műszert borító burkolat belsejében alkalmaznak elektromos fűtést. Vékony drótokat elektromos áram segítségével bizonyos hőfokra melegítünk. Ha a hőmérséklet emelkedik, az áramba iktatott hőmérő az áramot megszakítja, ha pedig a hőmérséklet süllyed, akkor a fűtőáram ismét bekapcsolódik úgy, hogy a hőmérséklet az előre megadott hőfok körül állandóan csak nagyon keveset ingadozik.

Miután így általános tájékozódást szereztünk a színeképelemző készülékek különböző típusainak szerkezetéről, a távcsövön való alkalmazásukról, a megfigyelés nehézségeiről, valamint a közvetlen és a fotografiai mérések értékesítéséről, talán helyénvaló lesz, ha a fontosabb műszereket képen és szóval röviden bemutatjuk.

A régiebb, most már nem használatos és csupán történelmi érdekű műszerek közül példaképpen a *Secchi-féle csillagspektroszkópot* fogjuk leírni, melynél az észlelő távcsőnek szögben való elmozdulását használják fel a mérés céljaira (56. rajz).

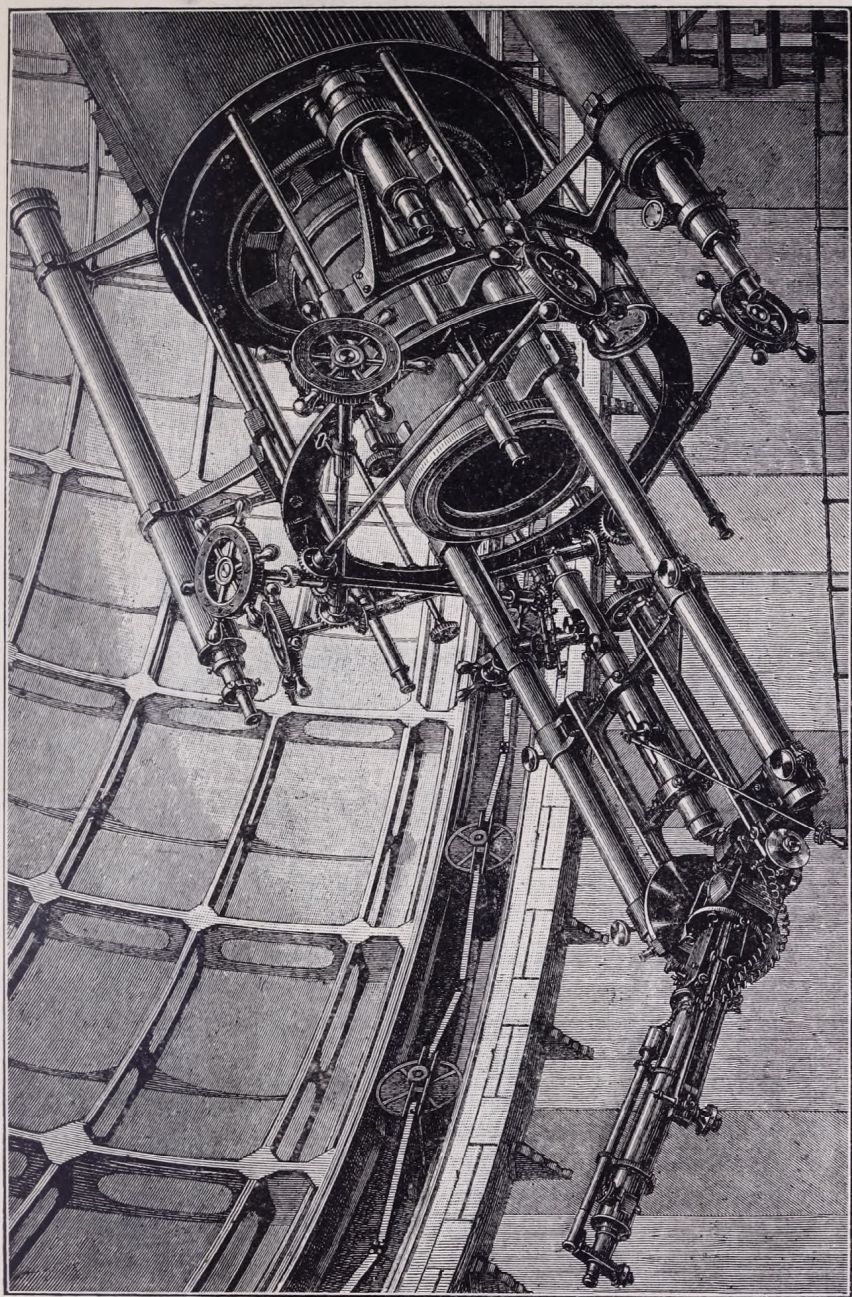


56. rajz.

A spektroszkópot  $G$ -nél az  $M$  csavarrész segítségével a refraktor okulárvégére csavarják.  $E$  a hengerlencse és  $e$ -nél van a rés. Közvetlenül  $e$  mögött kicsiny,  $45^\circ$ -nyi szög alatt hajló tükrös van, melynek egyik fele nincsen amalgámmal bevonva s ezért a csillag fényét átbocsátja, a másik fele azonban tükröző s azért az oldalról,  $L$ -től reáeső minden fényt visszaver.  $L$ -nél azt a fényforrást lehet elhelyezni, melynek fényét a csillagával egyidejűleg akarjuk a spektroszkópban megvizsgálni. Ezután következik a  $KK$  kollimátorlencse és az egyeneslátású  $p\ q\ p'\ q'\ p''$  prizma-rendszer.

A  $QO$  észlelő távcső a  $d$  tengely körül forgatható. A finom beállítás az  $n$  csavar segítségével történik, az észlelőtávcső helyzetét pedig a  $BC$  körrészen olvassuk le. Az oldalt alkalmazott  $RJ$  kollimátor arra való, hogy a színekben mozgó mérőjelt állítson elő. E célra a  $V'$  mikrométercsavarral mozgatható  $T$  szánon levő

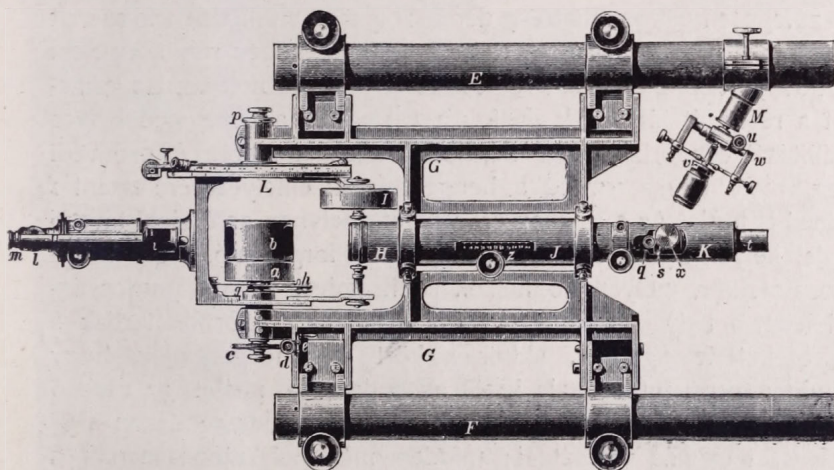






szűk rést a  $J$  lámpa világítja meg. A résből kiinduló sugarakat miután azok a prizmarendszer hátulsó lapjáról az észlelő távcsőbe verődnek vissza, az  $R$ -nél levő lencse párhuzamossá teszi. Mozdulatlan távcsőnél ez az elrendezés okulármikrométerként is szolgálhat a színekép korlátolt részein belül való mérésekhez.

A *Lick-obszervatórium nagy refraktorának csillagspektroszkópja*. A refraktor nagyságával arányban (91 cm. nyílás) e műszer méretei is hatalmasak. Súlya a refraktoron levő tartórészszel együtt 100 kilogrammnál nagyobb.



58. rajz.

Az 57. rajz távlati képen mutatja be ezt a spektroszkópot és a nagy refraktorra való megerősítésének módját. Az 58. rajzban adott vázlatos kép alapján és a következő leírás segítségével teljesen tiszta képünk lehet e műszer szerkezetéről.

A nagy refraktor alsó végét forgatható tok borítja, mely csavarokkal, szorítókkal és pozíciókörrel van felszerelve. Erre a tokra van ráerősítve a két  $E$  és  $F$  sárgarézcső, melyek a tulajdonképpeni spektroszkópot tartják. A spektroszkópnak  $G$  sárgarézkerete egy darabból van öntve és az  $E, F$  tartókkal szorítók segítségével függ össze; de a szorítók magukban mozgathatók úgy, hogy ha egyszer helyes helyzetbe hozattak, rögzítésüknél nem következhetik be a keret feszülése.

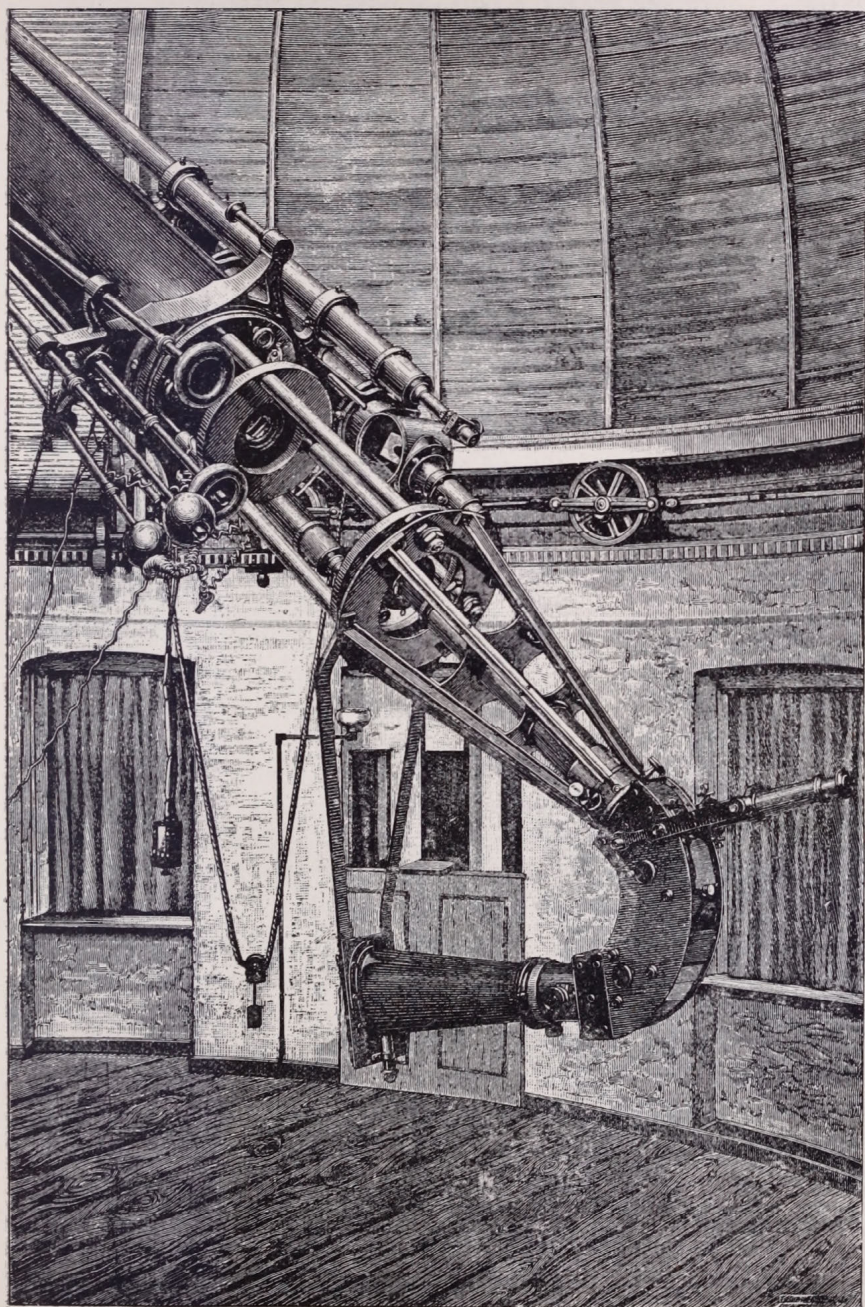


A  $H$  kollimátor a  $J$  csőben eltolható, ez pedig a kerettel ellencsavarok által függ össze, minek következtében a kollimátortengelyt úgy lehet beállítani, hogy a távcső optikai tengelyével összeessék. A  $z$  csavar forgatásával a kollimátor mintegy 100 milliméterrel eltolható; helyzete milliméterskálán leolvasható. A kollimátor tárgylencséjének nyílása 4 cm., gyújtótávolsága 51 cm. Jénai üvegből készítik; fényvesztesség elkerülése céljából a lencséket összeragasztják.

Az  $s$  rés csavarokkal és szorítókkal a gyújtópontba állítható. A rést alkotó lemezek szimmetriásan nyílnak széjjel, hossza pedig tetszőlegesen változtatható.  $q$  derékszög alatt eltolhatóan felszerelt okulár, mely a sugarak menetét a kollimátorcsőben rendesen nem módosítja, azonban lehetővé teszi, hogy beljebbtolásával a csillagot a résen át láthassuk és így a csillagnak a résre való helyes beállítását ellenőrizhessük. Sérülések ellen a rést a  $K$  cső védi meg, mely egyszersmind a hengerlencsék elhelyezésére szánt  $t$  csövet is tartja. Az a nagyon erős keret, melyben az észlelő távcső foglal helyet, a főkeretben két csap körül forgatható.  $L$ -nél van a beosztott kör, melyen nóniuszok segítségével 10"-nyi pontossággal lehet a helyzetét leolvasni. Ezt a kört a  $p$  szorítók tartják s ha ezeket felengedjük, akkor a kört úgy forgathatjuk, hogy mindenegyres osztásvonala kerül az index alá, mialatt az észlelő távcső a résre van irányítva. Ehhez a helyzethez rendesen a  $0^0$  leolvasást szokás választani; minden más helyzetben azután a leolvasás közvetlenül az eltérítést adja.  $h$ -nál szorító és az észlelő távcsövet finoman forgatható csavar van. A nóniuszt az  $i$  elektromos lámpa világítja meg.

Az észlelésekhez két tárgylencse, illetve távcső van. Az egyiknek, mely a rajzon is szerepel, nyílása 4 cm., gyújtótávolsága pedig 25 cm. A másiknak gyújtótávolsága mégegyszer akkora s rácschal kapcsolatban a Nap színképének vizsgálatánál használják. Az  $m$  mikrométer mind a két távcsőhöz alkalmas. A kisebb távcsőnél a mikrométer egy csavarfordulata  $3' 10.8''$ -nek felel meg. Az  $i$  lámpa egyidejűleg a mikrométer fonalait is megvilágítja; az utóbbi célra a megvilágítás színét a megvizsgálandó színképrészeknek megfelelően színes üvegek segítségével lehet változtatni. A világítás szabályozását a kis prizmat tartalmazó  $l$  hüvely csavarásával lehet elérni. Az okulárok 7-sze-





59. rajz.



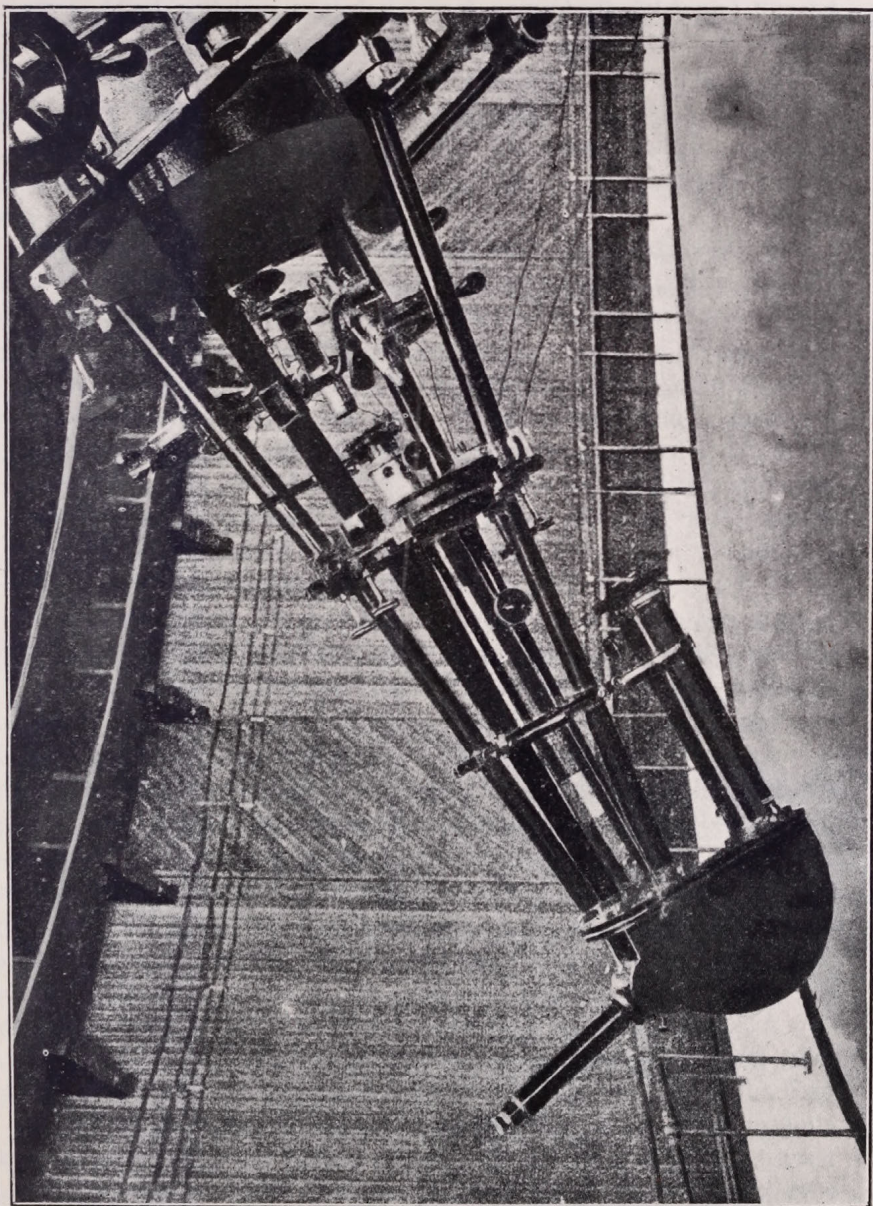
resen és 13-szorosan nagyítanak. Az  $I$  súly az észlelő távcső ellensúlyozására való.

A spektroszkóphoz három prizma tartozik, a melyek egymással könnyen kicserélhetők. Ezek közül kettő egyszerű prizma  $30^\circ$ , illetve  $60^\circ$  törőszöggel. A harmadik prizma összetett és szórása erős. A prizmák az  $a$  asztalkához vannak hozzáerősítve; külső fény ellen a  $b$  tok védi őket. Az  $a$  asztalka hosszú, kúp alakú tengely végéhez illeszkedik, mely tengely keresztülmegy az észlelő távcsövet tartó keret kifurt csapján. A tengely másik végén levő  $c$  fogazott koronggal és az abba kapaszkodó  $d$  érintői csavarral az asztalkát finoman el lehet forgatni. A  $d$  csavar az  $e$  emeltyűvel a korongtól eltávolítható úgy, hogy az asztalka azután kézzel szabadon forgatható. Az asztalka alatt a tengelyen fémtok van, a melybe a legkisebb eltérés előállítására szolgáló szerkezet kapaszkodik ( $g$ ). E szerkezet olyan berendezésű, hogy minden szín számára önmagától áll be a legkisebb eltérítés, mihelyt ezt *egy* szín számára elértük. Rácsok használatakor ezt a szerkezetet ki kell kapcsolni.

A tartócsövek egyikén  $M$ -nél található az összehasonlító színképek előállítására szolgáló készülék.  $w$ -nél van az elektród-tartó, mely az  $u$  fogasszerkezettel igazítható. Az elektród-tartó forgatásával erre merőleges irányú mozgás érhető el. A  $v$  lencse segítségével elektromos szikra képét vetíthetjük a résre s mivel  $e$  lencse szögnyílása nagyobb, mint a kollimátor tárgylencséjéé, azért a szikra fénye a kollimátor egész nyílását kitölti. A szikra fényének szabályozására közömbös füstszínű üvegből készült eltolható ék szolgál. Az elektród-tartót GEISLER-féle csövek számára szolgáló tartóval lehet kicserélni.

*A potsdami obszervatórium régibb csillagspektrográfja.* Ezzel a ma már nem egészen modern műszerrel sikerült legelőször az állócsillagoknak a látósugár mentén való sebességét kielégítő pontossággal megmérni. Ezért rövid leírása talán helyénvaló. A 28 centiméteres refraktorhoz való erősítés módja az 59. rajzon látható.

A refraktor egész okulárrésze le van véve. Helyét három vasrúdból álló erős tartószerkezet foglalja el, melynek egyik végén csavarokkal mozgathatóan van elhelyezve a spektrográf. A kollimátorcső a nagyobb stabilitás kedvéért T-alakú acéltartókból



60. rajz.



készült kúpalakú állványban foglal helyet, a melyben hajtó segítségével elmozdítható s helyzete skálán lemérhető.

A kollimátorcső után a jól merevített tartó következik, mely a két erősen szóró RUTHERFORD-féle prizmat foglalja magában. Ehhez csatlakozik a kúpalakú kamara, melynek végét a stabilitás kedvéért tartórudak kötik össze a kollimátortest felső végével.

Az összekötésnek ezzel a módjával oly merev rendszerhez sikerült jutni, mely nem mutat észrevehető elgörbüléseket. A refraktor tárgylencséjének sugárcúpjába, mintegy 40 centiméternyire a réstől, hidrogént tartalmazó GEISSLER-féle cső nyúlik. A csillagszínképen tehát hidrogén vonalak látszanak keresztülvonulni, a melyek a mérésnél támasztó pontokul szolgálnak. A csillagot a fentebb leírt két módszerrel igazítják a résre. Az ehhez szükséges második távcső a készüléktől jobbra foglal helyet. Ennél a műszernél a harmadik módszert is lehet alkalmazni. Az erre való oldal-okulár a rajzon a kamara alsó végén látható.

A LICK-obszervatórium MILLS-féle csillagspektrográfja. A 60. rajzban bemutatott ú. n. MILLS-féle spektrográf jelenleg talán a leg-tökéletesebb ily fajta műszer. A 115. lapon leírt nagy csillagspektroszkóp helyett használják a LICK-obszervatórium nagy reflektorán.

Az e munka utolsó részében elmondott eredmények nagy részét ennek a műszernek köszönhetjük. A spektroszkópban nehéz flintüvegből készült három prizma van, melyeknek összes eltérése  $180^\circ$ , úgy hogy a kamara távcsöve és a kollimátor egymással párhuzamosak, a mi e kettőnek kényelmes és megbízható összekapcsolását biztosítja. A kollimátorlencse gyújtótávolsága közel  $\frac{3}{4}$  méter, míg a fotografiai kamara lenszéjének gyújtótávolsága 0.9 méter.

A kollimáció elve alapján a fényerősség háromszor akkora, mint ha a két lencse gyújtótávolsága egyenlő lenne. A csillag célbantartására a második módszer szolgál (visszaverődés az elülső prizmalapról), csakhogy lényeges módosítással. A visszavert fényt t. i.  $30^\circ$  törésszögű prizma bontja színképre. A színkép összes részeit ernyő takarja, kivéve a  $H_\gamma$  vonalat. Ha most egyáltalában visszavert fény látható, akkor ezzel bizonyosságot szerzünk az iránt, hogy az illető csillagnak főleg kék, illetve ibolya fénye

érkezik a spektroszkópba, a mi különösen alacsonyabban álló csillagoknál nagyon fontos.

Fényesebb csillagok színeképeinek fotografálására egyébiránt más kamara használható, melynél a tárgylencse gyújtótávolsága ugyanakkora, mint a kollimátor lencsée. Ezáltal a színekép hosszúsága megkétszereződik és a mérés pontossága arányosan növekszik.

A *protuberancia-spektroszkópok* más spektroszkópoktól nem annyira szerkezetükben különböznek, — alapjában minden erősen szóró összetett spektroszkóp használható erre a célra —, hanem inkább használatuk módjában, melyet a protuberancia-színekép különös sajátossága tesz szükségessé. E külön célra szolgáló műszereket ezért talán legalkalmasabban a harmadik részben, a protuberanciák tárgyalásánál fogjuk leírni.

## HATODIK FEJEZET.

### Az abszolút hullámhosszúságok meghatározása.

Az előbbi fejezetekben megismerkedtünk a legkülönbélebb színeképelemzőkészülékek szerkezetével, a melyek arra valók, hogy velük a színeképben ismeretlen vonalak hullámhosszúságát már ismert hullámhosszúságú vonalak segítségével megállapítsuk. Ennélfogva szükséges, hogy egyszer legalább is *egy* színekép-vonalnál megállapítsuk a hullámhosszúság abszolút értékét, vagyis a hullám hosszúságát adott mértékegységben. Azok a fizikai módszerek, a melyek ezt lehetővé teszik, a fény hullámainak elhajlásán (diffrakció) vagy interferenciáján alapszanak. A következőkben ezeket a módszereket matematikai képletek elkerülésével igyekszünk érthetővé tenni. Előbb azonban az alapul veendő hosszegység dolgában kell döntenünk.

A látható sugarak hullámhosszúsága körülbelül 0·0008 mm.-től 0·0004 mm.-ig terjed. Ha tehát a millimétert választanók egységül, akkor ezzel az a nagy kényelmetlenség járna, hogy folyton sok nullát kellene leírnunk. Ezért a fizikusok a milliméter ezredrészét, 0·001 mm.-t választották egységül; ennek neve mikron és



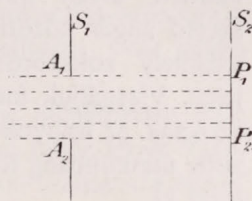
jele a görög  $\mu$  betű. E szerint a szélső vörösben a hullámhosszúság  $0{,}8\mu$ . Ez a jelölésmód abban az esetben kényelmes, ha a hullámhosszúságok adatai nem nagyon pontosak. De ma a hullámhosszúságok meghatározásának pontosságában már nagyon nagy tökéletességre tettünk szert, úgy hogy még a mikron hetedik tizedesét is megadhatjuk. Így pl. valamely hullámhosszúságot pontosan  $0{,}7321689 \mu$ -nek kellene írni, a mi ismét kényelmetlen és nem áttekinthető. Minthogy a mi használatos hosszegységeink mindig ezredrészek szerint rendeződnek — kilométer, méter, milliméter, mikron — szinte kínálkozott ezt a viszonyt folytatólag kiterjeszteni és  $0{,}001$  mikront vagy  $0{,}000001$  mm-t (egy milliomodrész millimétert) választani új egységnek. Ezt az új egységet  $1\mu\mu$ -vel jelölték és különösen Németországban hosszabb időn át használták. A hullámhosszúságokat tehát milliomodrész milliméterekben adták meg. Az előbbi példánkban említett hullámhosszúságot tehát  $732{,}1689\mu\mu$ -nak kellene írni.

Amerikai és angol fizikusok és asztrofizikusok példáját követve, ezt az egységet ma már nem használják. Helyébe a tiszszerte kisebb  $\text{Å}$ . ÅNGSTRÖM-féle egység, a milliméter tízmilliomodrésze lépett. Hullámhosszúságok adatainál könyvünkben is a tízmilliomodrész millimétert vettük egységül — hacsak kifejezetten más nincs említve — és a szám elé tett görög  $\lambda$ -val utalunk arra, hogy hullámhosszúságot jelent. A példánkban választott hullámhosszúságot tehát így kell írni:  $\lambda 7321{,}689$ .

*Az abszolút hullámhosszúságok meghatározása finom rácsok segítségével.* Az I. rész 18. lapján láttuk, hogy minden rezgő éter-részecske ismét új rezgések középpontjának tekintendő, azonban az összes oldalt történő rezgések interferencia következtében egymást kölcsönösen megszüntetik úgy, hogy csak a fénynek egyenesvonalú terjedése marad meg. De ha a sugarak útjába élesen határolt, átlátszatlan ernyőt teszünk, akkor, miként már röviden említettük, a fény oldalt is eltérhet úgy, hogy az ernyő árnyékának terébe is sugarak hatolnak, a miért ott nincs azután tökéletes sötétség. Ha pedig oly ernyőt használunk, a melyen résszerű nyílás van, akkor a rés élein szintén létrejön a fénynek ez az említett behatolása, vagy, a mint mondani szokás elhajlása (diffrakciója), a rés két oldalán levő árnyékterü-

letekbe. De aránylag könnyen beláthatjuk, hogy ezáltal oldalt nem jön létre egyenletes világítás, hanem fény és sötétség szabályosan ismétlődve váltakozik egymással.

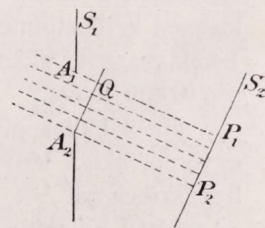
Tegyük fel, hogy párhuzamos sugárnyaláb merőlegesen esik az  $S_1$  ernyőre, melynek  $A_1 A_2$  résszerű nyílásán áthaladva a második  $S_2$  ernyőre talál. A sugarak ettől a réstől mindenféle irányban haladnak tova. Ezek közül az irányok közül vegyük szemügyre először azt, a mely az eredeti irány folytatása, a mely tehát  $S_1$ -re merőleges (61. rajz).



61. rajz.

Mint hogy a sugarak párhuzamosak, azért a hozzájuk tartozó hullámfelület az  $S_1$ -hez párhuzamos sík, ennél fogva az összes sugaraknak az  $A_1 A_2$  rés síkjában ugyanaz a fázisuk van. De mert valamennyi sugárnak útja  $S_1$  és  $S_2$  között — pl.  $A_1$ -től  $P_1$ -ig és  $A_2$ -től  $P_2$ -ig — egyenlő hosszú, azért  $P_1$ -től  $P_2$ -ig is mindenütt ugyanannak a fázisnak kell uralkodnia. A hullámmozgás tehát itt nem szűnik meg interferencia következtében, hanem a sugarak egyszerűen egymás mellett haladnak.

Vegyük most szemügyre oly sugárnyalábot, mely  $A_1 A_2$ -től bizonyos szög alatt indul ki és  $P_1 P_2$ -ben az  $S_2$  ernyőt találja, mely a sugarak irányára merőlegesen áll (62. rajz). Látjuk, hogy  $A_1$ -től  $P_1$ -ig most hosszabb az út, mint  $A_2$ -től  $P_2$ -ig. Válasszuk a hajlásszöget úgy, hogy ez az útkülönbség  $A_1 Q$  éppen egy teljes hullámhosszával legyen egyenlő. Akkor világos, hogy a szélső  $A_1$  sugárnak a középső sugárhoz képest fél hullámhosszával nagyobb fáziskülönbsége van. Ez a két sugár tehát kioltja egymást a  $P_1 P_2$  síkban, ha valami módon, pl. lencse közvetítésével a két sugár képpé egyesül. Éppen úgy az  $A_1$ -hez legközelebbi sugár és a középső sugárhoz legközelebbi sugár szintén kioltja egymást. Egyáltalában az egyik fél minden sugarához a másik félben oly sugár tartozik, melynek fáziskülönbsége egy fél hullámhosszával egyenlő. Ennél fogva az összes sugarak kioltják egymást és így  $P_1 P_2$ -ben vagy a megfelelő irányban teljes sötétség uralkodik.



62. rajz.



Ha erősebb hajlásszöget választunk, úgy hogy  $A_1 Q$  két hullámhosszúságnyi útkülönbséggel egyenlő, akkor ugyanazt a megfontolást a rés negyedrészeire alkalmazhatjuk; tehát ebben az irányban is sötétség fog létesülni és így könnyen kimutathatjuk, hogy érvényes a következő szabály: »Sötétség létesül minden olyan irányban, a melyben az útkülönbség a két szélső sugár között egyenlő a hullámhosszúsággal, vagy annak valamely sokszorosával«. E helyek között azonban fény van jelen. Vizsgáljuk meg már most, hogy mennyi fény felel meg azoknak az irányoknak, a melyek számára a szélső sugarak közötti útkülönbség félhullámhosszúságot vagy annak többszörösét teszi ki.

Abban az irányban, a mely a merőleges kilépés és a rajzon feltüntetett hajlás között fekszik és a melynél az  $A_1 Q$  félhullámhosszúságot tesz ki, a két szélső  $A_1 P_1$  és  $A_2 P_2$  sugár  $S_2$ -be éppen félhullámhosszúságnyi útkülönbséggel érkezik és ezért egymást teljesen kioltják. Két szomszédos sugár számára a különbség már nem tesz ki pontosan félhullámhosszúságot és így ezek már nem oltják ki egymást teljesen. Általában annál kevésbé oltják ki egymást, mennél közelebb fekszenek a közép felé. Ha most a  $P_1 P_2$  fényességét a merőlegesen keresztülmenő sugarak esetében az  $u$ . n. rés-kép számára 1-nek vesszük, akkor a jelen esetben a  $P_1 P_2$ -ben keletkező fényesség 0,405 lenne.

Ha a hajlás olyan, hogy  $A_1 Q$  három félhullámhosszúsággal egyenlő, akkor fényességének még  $\frac{1}{9}$  része adódik, öt félhullámhosszúságnál  $\frac{1}{25}$ , más szóval itt a következő szabály érvényes: »Azokban az irányokban, a melyek számára a szélső sugarak útkülönbsége a félhullámhosszúságnak háromszorosa vagy páratlan sokszorososa, fényességmaximumok mutatkoznak, melyeknek fényessége úgy fogy, mint fordítva a páratlan számok négyzetei ( $\frac{1}{9}$ ,  $\frac{1}{25}$ ,  $\frac{1}{49}$ , ...). A közbenső helyeken a fényesség a maximumok és nulla között váltakozik«.

A rajzban a sugarak lefelé hajlanak, de világos, hogy szakasztott ugyanazok a tételek érvényesek a fölfelé irányuló sugarak számára is. Ebből következik, hogy a fényeloszlás a réstől kétoldalt szimmetrikus. A fényelhajlásnak vagy diffrakciónak más tulajdonságait is könnyen felismerhetjük a rajzból. Belátjuk, hogy

szűkebb résnél, mikor tehát  $A_1 A_2$  kisebb, a sugarak hajlásának nagyobbának kell lennie, hogy ugyanazt a maximumot adja, mint tágabb résnél, minthogy az  $A_1 Q$  távolságnak változatlanul ugyanannak kell maradnia. Ennélfogva mennél szűkebb a rés, annál távolabb esnek egymástól a maximális helyek, az elhajlás jelensége annál tisztábban nyilvánul. Ha a rés a hullámhosszúsághoz képest nagyon széles, pl. egy milliméter, az elhajlás csak külön eszközök segítségével észlelhető.

Hallgatagon azt tettük föl eddig, hogy példánkban egy-színű (homogén) fény szerepel. Ha azonban fehér fényt használunk, új jelenségek keletkeznek, a melyek a mi céljainkra éppen a legfontosabbak. Ha  $A_1 Q$  pl. egy hullámhosszúsággal egyenlő, akkor, miként már tudjuk, az ebből a föltételből eredő irányban teljes sötétség fog uralkodni. De a különböző színeknek megfelelő hullámhosszúságok különbözők s a sugarak oly hajlása, a mely egy bizonyos hullámhosszúság esetében sötét színt eredményez, más hullámhosszúságnál ezt nem fogja tenni. Ugyanez áll a maximumokra is, a miből következik, hogy a fehér fény diffrakciójánál a különböző színek minimumai és maximumai egymásmellett fekszenek. A színek sorrendjét is azonnal megmondhatjuk. Leghosszabb hullámúak a vörös sugarak; ezeknél tehát a maximumok és minimumok csak nagyobb hajlásoknál jöhetnek létre, mint a narancsszínű, sárga, zöld stb. sugaraknál. A vörös sugarak maximumai tehát távolabb esnek a rés képétől, mint a többi sugaraké. A maximumok tehát kifelé vörös szegélyt, befelé ibolyaszínűt fognak mutatni. A világos sávok közepén a különböző színek összetalálkoznak, ennélfogva ismét többé-kevésbé tiszta fehér színt eredményeznek. Eszerint diffrakció következtében a fény a sávokban színeképpé bomlott szét, fény-elhajlás segítségével tehát a fény szétszórását érhetjük el anélkül, hogy prizákat alkalmaznánk. Még meg kell jegyeznünk, hogy a rés képét előidéző, merőlegesen kiinduló sugaraknál szórás természetesen nem keletkezhet, mert ezeknél útkülönbség nem működik közre. A rés képe tehát éles és fehér marad.

Ha a rés nem nagyon szűk, akkor a színeképek nagyon keskenyek, nem tiszták és ezért gyakorlatilag nem értékesíthetők. De van mód, hogy ezen az úton rendkívül tiszta és hatalmas



szórású színeképekhez jussunk, a minőket prizmával nem is lehet előállítani.

Ez a mód abban áll, hogy sűrűn egymásmellett levő számos finom rést alkalmazunk. Az erre szolgáló eszköz az ú. n. elhajlítórács vagy diffrakciós rács. Ebben az esetben a valamely résből kiinduló sugarak nemcsak egymással, hanem a többi résből érkező sugarakkal is interferálnak. Az itt létrejövő folyamatok követése sokkal bonyolultabb, semhogy e helyen tárgyalhatnók. De a hatás az, hogy egyszínű fénynél a maximumok végül egészen finom, intenzív sávokká lesznek, a melyeket széles sötét szalagok élesen elválasztanak egymástól. Érthető, hogy fehér fénynél a különböző hullámhosszúságok maximumai közvetlenül egymás mellé kerülnek. De a különböző hullámhosszúságoknak megfelelő sávok egymásutánja nem egyéb, mint folytonos színekép. Mint az egyszerű rés esetében, úgy itt is, két oldalt terjednek a színeképek egész hullámhosszúságú útkülönbségek sokszorosainak megfelelően és egymástól közökkel elválasztva. A színeképek vörös része kifelé, ibolyaszínű része pedig befelé fekszik. Mennél távolabb vannak a színeképek a rés képétől, annál hosszabbak s ezért bizonyos távolságtól kezdve fedik egymást. Rendesen már a második színekép vörös része összeesik a harmadiknak ibolyaszínű részével.

A színeképeket sorrendjük szerint a rés képétől számítva első-, másod-, . . . , stb. rendűnek szokás nevezni. A színeképek fényerőssége közel fordítva arányos rendszámuk harmadik hatványával, tehát igen erősen fogy.

A fényelhajlás elmélete arra tanít bennünket, hogy a sugaraknak az elhajlítórács okozta eltérítése nagyon egyszerű viszonyban áll a hullámhosszúsággal és a rácsvonalak egymástól való távolságával. Ha ezt az utóbbit ismerjük — pl. azáltal, hogy az első és utolsó vonalnak egymástól való távolságát megmérjük s elosztjuk a vonalnak egygyel kisebbített számával, — akkor az eltérítésnek mérése spektrométerben a hullámhosszúság abszolút meghatározását eredményezi.

Ha itt lehető nagy pontosságra törekszünk, akkor ennek megvalósítása a legnehezebb fizikai feladatok egyike. A nehézségek közül, a melyekkel találkozunk, csak egyet említünk meg: ez a rácsok készítmódja, mely általánosabb érdeklődésre tart

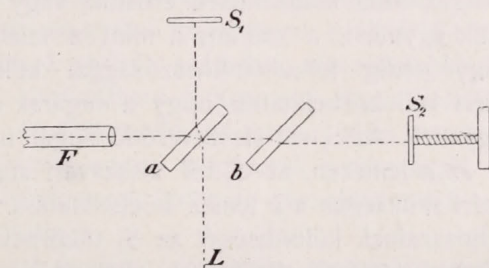
hat számot. Mennél finomabbak a rések és mennél sűrűbben vannak egymás mellett, annál nagyobb az ebből származó fényszórás és annál tisztábbak a színek. A főtörekvés tehát oda irányul, hogy a rácson mennél sűrűbben legyenek a vonalak. De a rácsoakat nagyon pontosan is kell készíteni, azaz szükséges, hogy a rács vonalainak távolsága egymástól az egész rács mentén ugyanaz legyen. Ha ez a követelmény nem valósul meg, a rács különböző részeinek szórása különböző, a miből fódések és elmosódottság származnak.

Az első rácsoakat oly módon készítették, hogy  $\frac{1}{4}$  milliméter menetmagasságú két egyenlő mikrométercsavart egymáshoz párhuzamosan kapcsoltak össze egy kereten. Mindkét csavar köré azután menetről-menetre finom drótot csavartak. A drótot a csavarokhoz forrasztották úgy, hogy a drótot az egyik oldalon le lehetett vágni. Így azután oly rács származott, melynek rései  $\frac{1}{4}$  mm-nyire állottak egymástól. De ez még igen nagy távolság és ehhez képest a színek szórása is csak kicsiny volt. Később azután úgy kezdtek rácsoakat készíteni, hogy síma üveglapokba vonásokat karcoltak. A gyémánttal bekarcolt barázdák fényt nem bocsátanak át, legalább is nem olyant, a melynél a sugarak menete szabályos lenne; az üvegnek meg nem karcolt helyei pedig a rések módjára viselkednek. Ilyen üvegrácsok készítését csakhamar a tökéletesség magas fokára emelték, a mennyiben egy centiméternyi közön 4000 vonalat sikerült karcolni, a mivel már tekintélyes szórás lehetett elérni. Az ilyen üvegrácsokkal megmért abszolút hullámhosszúságok pontosságának foka tehát már igen nagy volt.

Az abszolút hullámhosszúságok megmérése interferencia segítségével. Az elv, a melyen a hullámhosszúságoknak megmérése interferencia segítségével alapszik, a 63. vázlatos rajz alapján könnyen megérthető.

Az *abszolút hullámhosszúságok megmérése interferencia segítségével*. Az elv, a melyen a hullámhosszúságoknak megmérése interferencia segítségével alapszik, a 63. vázlatos rajz alapján könnyen megérthető.

Az  $L$  fényforrásból kiinduló párhuzamos sugárkéve a plán-



63. rajz.



parallel  $a$  üveglemezre esik, mely  $45^\circ$ -nyi szög alatt hajlik a sugárkévéhez.

Az  $a$  lemez alsó felülete gyöngén ezüstözött, ezért a fény egy részét visszaveri, másik részét azonban átbocsátja. A visszavert rész a méreteiben az  $a$  lemezzel megegyező, de nem ezüstözött  $b$  üveglemezen halad keresztül, ráesik az  $S_2$  tükörré, a mely a sugarakat visszaveri, a melyek  $b$ -n és  $a$ -n áthaladva az  $F$  észlelőtávcsőbe jutnak. A fénynek az  $a$  része, melyet az  $a$  lemez ezüstrétege átbocsátott, az  $S_1$  tükörré esik, a melyen visszaverődve az  $a$  lemezre s onnét ugyancsak az  $F$  távcsőbe jut.  $F$  gyújtópontjában tehát két oly sugár találkozik, a melyek ugyanabból a fényforrásból származnak, de különböző hosszúságú útát tettek meg, minek következtében interferálhatnak egymással, azaz kölcsönösen erősítik, vagy a teljes eltűnésig gyöngítik egymást, a szerint, a mint a találkozás fázisai azonosak, vagy pedig félhullámhosszúsággal különböznek. A  $b$  lemezt azért kell közbeiktatni, hogy a sugarak útjai optikailag egyenlők legyenek. Az  $S_1$ -ről visszaverődő sugár ugyanis háromszor hatolt át az  $a$  lemezen, az  $S_2$ -ről visszavert sugár pedig csak egyszer, ezért szükséges a  $b$  lemez közbeiktatása. A két interferáló sugár úthosszainak különbségét az  $S_2$  tükörnek mikrométercsavar segítségével történő eltolásával lehet módosítani. Ha a tükröt félhullámhosszúsággal toljuk el, akkor a fénysugár a kétszeres úton szükségképpen teljes hullámhosszúsággal változik meg. A távcsőben tehát ez az eltolás azt idézi elő, hogy a pl. sötét látómező világossá s azután ismét sötétté válik, a világos látómező pedig a sötéten átmenve ismét világossá lesz. A tükör folytonos eltolásával ennél fogva világosság és sötétség között való folytonos változást lehet előidézni. Nem kell egyebet tennünk, mint e szabályosan ismétlődő változásokat megszámlálni s egy szersmind a tükör eltolódását megmérni, hogy e két adatból a megfelelő hullámhosszúságot megállapítsuk. Mennél nagyobb a megmérendő hosszúság, annál kevésbé fogják az elkerülhetetlen mérés hibák az eredményt eltorzítani s annál pontosabban fogjuk meghatározhatni az abszolút hullámhosszúságokat. Ha egynemű fényt használunk, akkor ezen az úton igen messzire haladhatunk; így pl. nátriumfény esetében 400 000 hullámhosszúsággal arányos eltolást sikerült megmérni.

Fényinterferencia egyébiránt többféle módon létesíthető, s így az előbbi elv alapján különféle módszerek használhatók az abszolút hullámhosszúságok megmérésére. E módszerek között a legjobb a FABRY és PEROT-féle módszer. Bizonyos távolságban egymástól és egymáshoz párhuzamosan két ezüstözött, lehetőleg sík üveglapot helyezünk el. Az eredmények pontossága lényegesen a két üveglap párhuzamosságának tökéletességétől függ, a minék megvizsgálására felette érzékeny módszerek szükségesek. A két lap között ferdén beeső egyszínű fénysugár az üvegfelületekről váltakozva visszaverődik s az eredeti sugárral interferál, úgy, hogy az észlelő távcsőben köralakú interferencia-gyűrűk keletkeznek. Ezeknek az interferencia-gyűrűknek az átmérője a fényhullám hosszúsága szerint különböző nagyságú. Ha két egynemű fénysugarat használunk, melyeknek hullámhosszúsága különböző, akkor a két rendszer interferencia-gyűrűi szabályosan ismétlődő közökben egybe fognak esni. A gyűrűk számából, összeesésökből és megmért átmérőjükből kiszámítható a szereplő sugarak hullámhosszúsága. A FABRY és PEROT-féle módszerrel elért pontosság messze felülmúlja az összes eddigi módszerek pontosságát, úgy hogy az abszolút hullámhosszúságoknak rácsokkal való megmérését teljesen kizorította.

KIRCHHOFF, a színeképelemzés felfedezője, a színeképvonalakat — pl. a Nap színeképeben levő vonalakat — önkényes skála szerint adta meg, a mely csak a tőle külön erre a célra használt műszerrel állott vonatkozásban. ÅNGSTRÖM ismerte fel, hogy a különböző vonalak hullámhosszúsága természetadta mérték, mely változatlan és ezenkívül független a műszertől és — miként később látni fogjuk — korlátolt mértékben független a fénygerjesztés módjától is. Ő volt az első, a ki nagy számban végzett hullámhosszúságméréseket és a hosszúságokat a gyakorlatba is bevezette. Utána számos tudós megismételte ezeket a méréseket, mindig tökéletesebb segédeszközökkel és ezzel karöltve pontosabb eredménnyel, úgy hogy jelenleg számos különböző »hullámhossz-rendszer« áll rendelkezésünkre. Arról, hogy újabb időben a pontosságnak mily fokát sikerült elérni, a következő kis tábla tájékoztathat a legjobban, mely a  $D_1$  nátriumvonal hullámhosszúságát adja különböző rendszerekben (a milliméter tízmilliomodrészeiben; az első szám évszám).



1868	ÄNGSTRÖM	5895·13
	THALÉN	5895·89
1886	MÜLLER és KEMPF	5896·25
1887	KURLBAUM	5895·90
1887	BELL	5896·08
1888	PEIRCE	5896·20
1888	BELL	5896·18
1888	BELL (ROWLAND)	5896·20

Az interferencia-módszerek alapján végzett legújabb hullámhosszméréseknél nem a  $D_1$  vonal szolgált alapul; az eredmények még sokkal pontosabbak, mint a fentebb közöltek.

Természetes, hogy a fizikára és az asztrofizikára nézve egyaránt nagyon fontos annak eldöntése, hogy e rendszerek közül melyiké az elsőbbség. Ámde ezt eddig még nem döntötték el. A mi könyvünkben, mely nem a tudományos kutatás céljait szolgálja, ez a döntés nem is fontos, minthogy a különféle rendszerek amúgy is igen közel megegyeznek. Csak megemlítjük, hogy e könyvből előforduló hullámhosszúság-adatok a *Preliminary Tables* ú. n. ROWLAND-féle rendszerén alapszanak, a mely jelenleg a leg-használatosabb.

*A fényvisszaverő rácsok.* Az üvegrácsokkal előállított elhajlási színeképek, miként már említettük, meglehetősen szegények fényben, úgy hogy csak nagyon erős fényforrás mellett használhatók. Ezért általában nem lehet ezeket a rácsokat abszolút hullámhosszúságok mérésén kívül más célokra is, pl. prizmák helyett használni. De csakhamar észrevették, hogy az elhajlási színeképek sokkal fényesebbek, ha átlátszó rácsok helyett, átlátszatlan, de fényvisszaverő rácsokat alkalmaznak. Az ilyen rácsokat először úgy készítették, hogy ezüstözött és fényezett üveglemezbe finom vonásokat karcoltak, a miben nagy tökéletességet értek el. Minden tekintetben a legkitűnőbbek eddig a ROWLAND-féle rácsok, melyeknél a vonalakat gép karcolja a fényezett fémfelületre. Ezeknél egy centiméterre 6000 vonal esik, színeképek fényben nagyon erősek, szórásuk igen tetemes és a színeképvonalak rendkívül élesek, ezért ezek a rácsok teljesen kiszorították a prizmákat mindazoknál a feladatoknál, melyek csak erős szórással oldhatók meg.

Nagyon érdekes, hogy miképpen lehetett előnyösen felhasználni e tükröző rácsoknál először mutatkozó jelenséget, melyet tulajdonképpen hibának kellett tekinteni. Láttuk, hogy a színeképek fényessége erősen fogy a színekép rendjének, tehát a szórásnak növekedésével. De a rácsokat éppen azért alkalmazzák, hogy nagyobb szórást érjenek el, tehát a magasabbrendű, fényben gyöngé színeképekkel dolgoznak. Egyes ROWLAND-féle rácsoknál föltűnt, hogy a színeképek a rés képének egyik oldalán sokkal fényesebbek voltak, mint a másikon, sőt némelykor az is előfordult, hogy a magasabbrendű színekép fényesebb volt az alacsonyabbrendű színeképnél. Elméleti vizsgálatok kiderítették, hogy ezek a rendellenességek a barázdák alakjától, végeredményben tehát a karczolásra használt gyémánt hegyének alakjától függenek. A gyémánthegek czélszerű megválasztásáva azután sikerült olyan rácsokat készíteni, melyeknél tetszés szerint az egyik oldal harmad- vagy negyedrendű színeképe volt a legfényesebb, a melyeknél tehát erős szórás mellett a legkevesebb fény ment veszendőbe. Ez a körülmény azután lehetővé tette, hogy a tükröző rácsokat erős szórás alkalmazásával fényben gyöngé égítetek spektroszkópi vizsgálatára is lehetett használni.

A gyakorlati színeképelemzésben fontos haladást jelentett, mikor nemcsak sík felületeken sikerült rácsokat előállítani, hanem gyöngén homorú tükrökön is. Ilyen rács valós színeképeket ad minden lencse használata nélkül. Homorúrács-spektrográfhoz tehát nem kell egyéb, mint rés, homorúrács és fotografuslemez. Semmiféle fényvesztesség nem áll elő, sem elnyelés, sem üvegfelületeken való visszaverődés következtében, úgy hogy a színeképek ibolyántúli részét igen nagy terjedelemben lehet lefotografálni. A homorúrácsok fokális tulajdonságaival egyébiránt a gyújtópontbeli képek erős asztigmatizmusa jár karöltve, mely ebben az esetben igen előnyösen hat. Ha pl. a fényforrás pontszerű, akkor a keletkező színekép nem vonalalakú, hanem kiszélesedett. Kiterjedt fényforrásoknál ugyanebből az okból a porokozta vonalak teljesen eltűnnek, minek következtében a színeképek külsőleg szebbek. Minden tekintetben mestermű az a nagy színekép-fotográfia, melyet ROWLAND maga készített homorúrács segítségével. Ez a színekép több méter hosszú és sok ezer vonalat tartalmaz.



## HETEDIK FEJEZET.

## A színképelemzés elmélete.

*Kirchhoff törvénye és a Kirchhoff-féle függvény.* A gyakorlati színképelemzés megalapítójának FRAUNHOFER müncheni optikus tekinthető, ki a színképelemzést az égitestekre is alkalmazta. A múlt század közepe táján már nagyszámú kísérleten alapuló ismereteink voltak a színképelemzés terén, de ezeknek benső összefüggését még teljes homály borította. Ismereteinket e téren röviden a következőkben foglalhatjuk össze: A legközönségesebb fényforrások, mint pl. a gyertya-, petróleum-, gázláng, folytonos színképet adnak, azaz színképük a szivárvány színeinek egymásutánjából áll, számtalan átmenettel, a folytonosság-nak minden megszakítása nélkül. Ha pedig ezekben a lángokban, vagy a gyöngéfényű borszesz- vagy Bunsen-lángban fém-sókat égetünk el, a színképben egyes fényes vonalak jelennek meg, a melyeknek helyzete ugyanannál az anyagnál mindig ugyanaz, ellenben a különböző fémeknél teljesen különböző. Világító vagy égő gázok, mint pl. a szénhidrogének, vonalakból vagy sávokból álló színképet adnak. Ezekről teljesen különbözik a Nap színképe, melynek folytonos színképét nagyszámú különálló fekete vonal szeli keresztül. Ilyen fekete vonalak az állócsillagok színképében is észlelhetők, de már FRAUNHOFER felismerte, hogy némely csillagoknál a vonalak hasonlítanak ugyan a Nap vonalaihoz, más csillagoknál azonban a vonalak elrendeződése teljesen elütő.

Kitűnt, hogy a nátriumsók által a lángok színképében előidéztet élénk sárga kettősvonal helyzete megegyezik a Nap színképének egyik erős fekete vonalával, melyet FRAUNHOFER *D* betűvel jelölt. Azt is észrevették, hogy a nátriumnak az elektromos ivlámpában való elpárolgása alkalmával a nátriumvonal nemcsak nagyon fényes, hanem hogy e fényes vonal közepén sokszor fekete vonal van, vagyis hogy másszóval a fényes vonal feketévé változott át. Azt, hogy e jelenségek között micsoda összefüggés van, nem tudták, bár tagadhatatlanul voltak fizikusok, kik ezt az összefüggést sejtették, anélkül, hogy határozott alakba tudták volna önteni.

Az összefüggést matematikailag pontos módon KIRCHHOFF fizikus derítette ki 1857-ben. Az összefüggést tételbe foglalta, melyet fölfedezője nevéől KIRCHHOFF-féle törvénynek neveznek. Az egész színeképelemzésnek ez a törvény az alapja. A törvény maga a következőképpen hangzik: »Minden sugárnem számára, ugyanannál a hőmérsékletnél, a kibocsátó- és elnyelőképesség közti viszony mindig ugyanaz«. Mielőtt e törvény magyarázatába fognánk és következményeit levezetnők, a mi matematika nélkül kissé bonyolult feladat, előbb a hangtűneményekből vett hasonlóságokkal igyekszünk czélt érni. E könyv első szakaszában mondotaknak némi ismételést e fejtegetéseknél lehetetlen elkerülnünk; egyébiránt külön utalunk e szakaszra.

Ha rugalmas testet, pl. hangvillát vagy harangot ütéssel rezgésbe hozunk, ezek a rezgések átmennek a környező levegőbe s gyakran nagy távolságra terjednek tova. A rugalmas levegőben a rezgések fölváltva sűrűsödést és ritkulást idéznek elő s ha fülünket érik, bennünk a hang érzete támad, vagyis hangot hallunk. Egy sűrűsödés és egy ritkulás együttvéve egy hanghullámot alkot.

A hanghullámok két irányban különbözhetnek. Mennél nagyobb a különbség a sűrűsödés és a ritkulás között, annál hevesebbek a fül dobhártyájára gyakorolt lökések, annál erősebb és intenzívebb a hang, anélkül, hogy egyébként jellege valami változást szenvedne. Mennél gyorsabban következnek egymásra a rezgések, annál magasabb a hang s mennél lassúbbak a rezgések, annál mélyebb a hang. A hang magassága tehát a rezgések szaporaságától függ, vagy a mi egyre megy, a hanghullámok hosszúságától. Ezt könnyű belátni. Ugyanis bármilyen magasságú hang számára a terjedés sebessége mindig ugyanaz, mint egy 300 méter másodpercenként. Ha ez nem így lenne, akkor a távoli zenéből a magas hangokat előbb vagy később kellene hallanunk, mint a mélyeket, vagyis nagyobb távolságban valamely zenedarab már csak hangok összevisszaságának és nem zenedarabnak a benyomását keltené. Minthogy azonban ugyanazon terjedéssébség mellett a magas hangok rezgései gyorsabbak, mint a mély hangokéi, a megfelelő hullámoknak ugyanabban az arányban rövidebbeknek kell lenniök; ha pl. a rezgések száma kétszerannyi, akkor a hullámok csak feleakkorák. Így arra a fon-



tos eredményre jutunk, hogy a hangmagasság csupán a hanghullámok hosszúságától, a hang erőssége pedig a rezgések erejétől függ. Fülünk hangérzőképessége korlátolt. Mintegy 30 m. hosszú hullámokat — másodpercenként 10 rezgést — a fülünk már nem mint hangot fog fel, hanem csak mint egyes lökéseket, a melyeket egész testünkkel is érzünk. 7—8 mm. hosszú hullámok — 40 000 rezgés másodpercenként — szintén nem keltenek többé hangérzést. A hangok gazdag világának e két szélsőség szab határt.

Ha különböző magasságú hangok egyszerre érik fülünket, akkor vagy a harmonia, az összhang kellemes érzetével, vagy a diszharmonia, a hangzagyvalék kellemetlen benyomásával hatnak reánk. Összhang akkor keletkezik, mikor a különböző hangok hullámainak hosszúságai úgy viszonylanak egymáshoz, mint lehetőleg kicsiny számok, pl. mint 1:2 (oktáva, hangnyolczad), 2:3 (kvint, hangötöd); vagy három hangnál pl. a nagy hármashangzatban 4:5:6. Nagyon kellemetlenül hatnak együttesen az olyan hangok, a melyeknél a hullámhosszúságok úgy viszonylanak egymáshoz, mint nagyobb számok, pl. mint 16:17. Ha mindenféle hosszúságú hanghullám egyszerre éri fülünket, többnyire nagyon kellemetlen, nem zenei hangérzések keletkeznek, a melyeket zajnak, csattanásnak stb. nevezünk.

Lássuk most, hogy a fénynél melyek a most említettekkel összehasonlítható fogalmak és érzések.

Mikor a hő rezgésbe hozza valamely test legkisebb részecskéit, a molekulákat, akkor ezek a rezgések átmennek a mindent átható éterre, a melynek legkisebb részecskéi, az éteratómok, szintén rezgésbe hozatnak. Ezen rezgések nagy távolságokra továbbterjednek és ha szemünket érik, agyvelőnkben fényérzést idéznek elő.

De míg a hangrezgések a levegőnek váltakozó sűrűsödéséből és ritkulásából állottak, addig ezeknél a rezgéseknél az éteratómok a fény terjedésirányára merőlegesen ide-oda lengenek, hasonlóan a vízrészecskék mozgásához a víz hullámainál s éppen úgy, mint ezeknél, egy hullámhegyet és egy hullámvölgyet együttevée egy hullámnak tekintünk. Mennél erősebbek a rezgések, azaz mennél magasabb a hullámhegy és mennél mélyebb a hullámvölgy, annál erősebb a fény hatása a szemre s annál fényesebb-

nek látszik a fényt kibocsátó tárgy. A hanghullámoknál érzett hangmagasságnak a félynél a színek érzete felel meg. Mennél gyorsabban következnek egymásra a rezgések, vagy más szóval mennél rövidebbek a hullámok, annál »magasabb« színt látunk, annál inkább közeledik a fénybenyomás az ibolyaszín felé; mennél hosszabbak a hullámok, annál közelebb jut az érzésünk a vöröshöz.

A szem fényérzőképességének éppen úgy vannak határai, mint a fülnek a hangérzőképességnek. Bizonyos hosszúságnál nagyobb, vagy bizonyos hosszúságnál rövidebb fényhullámok többé nem hatnak a szemre. A viszonyok itt a következőképpen alakulnak. A fény terjedéssége mindenféle hullámhosszúság számára egyaránt 300 000 km másodpercenként. Ez a hang sebességének milliószorosa. De hasonló arányban a rezgések szaporasága is megnövekedett. A vörös fényt másodpercenkénti 430 billió rezgés idézi elő, az ibolyaszínűt 770 billió; a megfelelő hullámhosszúságok 0'0007 és 0'0004 mm. Ezek a rendkívül kicsiny hullámok a szemben a látóideg végső rostjait érik, ezeket ingerlik és ezáltal az agyvelőben a fény érzetét váltják ki. A hang szélső rezgéseit átölelő közhöz képest a szemnél a megfelelő köz aránylag igen kicsiny, alig egy oktavára terjed. Ez az oktava az összes színérzeteket magában foglalja a szivárvány színeinek ismeretes sorrendjében: vörös, narancsszín, sárga, zöld, kék és ibolyaszín, s e főszínek közti számtalan árnyalattal és átmenettel megteremti a természet határtalan színgazdagságát.

A szem érzéshatárán túl fekvő sugarakat más módon lehet hatásossá tenni. A rövidebb, ú. n. ibolyántúli hullámhosszúságokat nagyon erős kémiai hatás jellemzi. Ezek azok a hullámok, amelyek a fotografálásnál lényeges szerepet visznek. A vörösöntúli hosszabb hullámok főleg hőhatásokat idéznek elő; ezek a hullámok a bőr érzőidegeivel vagy hőmérővel könnyen kimutathatók. Ha ebben az irányban egyre továbbhaladunk, míg végül oly hullámhosszúságokhoz érünk, melyeknek méretei a hanghullámokkal egyenlők, akkor a csak legújabb időben felfedezett elektrodinamikai hullámok birodalmába lépünk. Ezeknek a hullámoknak léte az elektromosság lényegéről való ismereteinket teljesen átalakította.



Ha valamely test különböző hullámhosszúságú sugarakat bocsát ki, a zene akkordjainak megfelelően kevert színeket kapunk. De itt érdekes az a nagy különbség, hogy általában nem lehet harmonikus vagy diszharmonikus keverékről beszélni. Teljesen a tárgyaktól függ, hogy a keverékek szépeknek látszanak-e, vagy nem. Oly színek, melyek a perzsaszőnyegek rajzában nekünk tetszenek, vagy a szivárványban egyesítve bennünket gyönyörködtetnek, ruha-kelméknél kellemetlenül hatnak. Mennél többféle különböző színt keverünk össze, annál inkább közeledik a keverék színe a tiszta világosszürkéhez. Az összes különböző hullámhosszúságú sugarak keverékéből a tiszta fehér szín áll elő. A fehér szín ennél fogva a szem számára körülbelül az, a mi a zaj, vagy a csattanás a fül számára.

Ismeretes, hogy az összes chemiai elemek és számos vegyületeik három halmazállapotban fordulhatnak elő; nevezetesen szilárd, cseppfolyós és gáznemű halmazállapotban. A halmazállapot főképpen a hőmérséklettől függ, oly értelemben, hogy a legtöbb anyag a hőmérséklet emelkedésével a három halmazállapoton az imént említett sorrendben megy át. A legegyszerűbb és legismertebb példa erre a víz. Nullafok alatti hőmérsékleten jég alakjában szilárd test,  $0^{\circ}$  és  $100^{\circ}$  között mint víz cseppfolyós,  $100^{\circ}$  fölött pedig általában vízgőz alakjában gáznemű. Megjegyzendő, hogy ez csak rendes légnyomásnál a föld felszínén van így. Ha a légnyomás különböző, akkor az előbbi számok megváltoznak.

Egyelőre azonban elég, ha csak a hőmérséklet hatását vesszük tekintetbe. Ha a hőmérsékletet mindinkább fokozzuk, akkor a vízgőz állandóan gáznemű marad ugyan, de bizonyos magas hőmérsékleten hirtelen megszűnik vízgőz lenni és chemiai alkotórészeire bomlik szét, nevezetesen hidrogénre és oxigénre, a melyek chemiai vonzalmuk ellenére, e ponton csupán elegyek alakjában maradnak meg egymás mellett. Ez a szétbomlás az alapelemekre végül minden chemiai vegyületnél bekövetkezik, s föltehetjük, hogy körülbelül  $5000^{\circ}$ -ú hőmérsékleten felül chemiai vegyületek egyáltalán nem maradhatnak meg.

A színeképelemzés elméletére nézve lényeges fontosságú az, hogy a különböző halmazállapotú testeknek milyen a belső szerkezetviszonya. Szilárd halmazállapotú testnél a legkisebb

részecskék, a molekulák, kölcsönös vonzás következtében bizonyára igen erősen összefüggnek, máskülönben nem lenne lehetséges a testek szilárdsága, mely a külső hatások okozta helyzetváltozásokkal szemben kifejtett passzív ellenállásban nyilvánul. De azért ezek a molekulák egyáltalán nincsenek mereven összekapcsolva egymással, a mint ez a szilárd testek izzásából kitűnik, a mely nem más, mint a molekuláknak rezgő mozgása, a mely az éteratómokra megy át.

Cseppfolyós halmazállapotban a molekulák benső összefüggése sokkal lazább. Még éppen hogy összefüggnek, de oly kevésbé, hogy a legcsekélyebb külső hatásnak azonnal engednek. Cseppfolyós testeknek azért nincs határozott külső alakjuk. Emelkedő hőmérsékletnél az átmenet a szilárd halmazállapotból a cseppfolyósba némelykor oly lassú fokozatos-sággal megy végbe, hogy a kettő között biztos határvonalat egyáltalán nem lehet vonni. Jellemző példa erre a közönséges viasz.

Végül a gáznemű állapotban az egyes molekulák közötti összefüggés teljesen megszűnik. A részecskék messze vannak egymástól, a mit az a körülmény bizonyít, hogy gáznemű halmazállapotban a testek sokkal nagyobb tért foglalnak el, mint szilárd vagy cseppfolyós állapotban. A molekulák nagy sebességgel egyenes vonal irányában mozognak, míg egymással összeütköznek, vagy az edény falához ütődnek. Mennél magasabbra emelkedik a hőmérséklet, annál hevesebbé válnak ezek a mozgások, annál inkább erősödik az edény falához való ütődésük, mely gáznyomás alakjában nyilvánul s igen hatalmas fokra emelkedhetik, mint pl. a gőzkazánban, vagy a lövés pillanatában az ágyúban.

Most azt fogjuk megvizsgálni, hogy miképpen nyilvánulnak ezek a halmazállapotbeli különbségek a világító (izzó) testek fényében.

Szabad rezgéseiben akadályozott test, pl. erősen lecsavart asztallap, nem végezhet valamely határozott rezgést mikor pl. lökéssel rezgésbe hozzuk, hanem különböző részei teljesen szabálytalanul minden lehető rezgést fognak végezni. Tehát nem valami határozott magasságú hang fog keletkezni, hanem valamennyi hang egyszerre megcsendül. Teljesen hasonló folyamat



megy végbe mikor szilárd testek világítanak. A molekulák rezegnek, de egymásra folyton zavaróan hatnak, úgy hogy minden lehető rezgés és ennél fogva minden lehető hullámhosszúságú fénysugár keletkezik: a fehér fény. A spektroszkóp ezt a fényt folytonos színekpre bontja, a miből ez a törvény következik: Izzó szilárd testek színekpe folytonos. Minthogy valamennyi szilárd test így viselkedik, azért oly folytonos színekpeket adnak, melyek észrevehetően alig különböznek egymástól, legyen az izzó test kő vagy fém, vas vagy arany. Cseppfolyós halmazállapotban a molekulák összefüggése még mindig túlerős, semhogy szabadon rezeghetnének és ezért a cseppfolyós testek színekpe is folytonos. A színekpelemzés első törvényének tehát a következőt tekintetjük:

1. Ha valamely világító test a spektroszkópban folytonos színekpet ad, akkor a fény izzó, szilárd, vagy cseppfolyós testtől származik; azt, hogy a test milyen chemiai elemekből áll, nem lehet felismerni.

Ez a törvény, a mint azonnal látni fogjuk, még bizonyos megszorítást szenved, de ez úgy látszik nincs hatással a színekpelemzésnek az égitestekre való alkalmazhatóságára.

Teljesen másképpen viselkedik az izzó gáz, melynek molekulái majdnem minden kölcsönös zavartól menten rezeghetnek. Ezek a molekulák egészen határozott rezgéseket végeznek, melyeknek időtartama mindig ugyanaz marad, úgy mint pl. a szabadon lengő óraingánál vagy a hangvillánál. S a mint a hangvilla mindig egy és ugyanazt a hangot adja, hasonlóképpen a világító gáznál is mindig egy és ugyanazon hullámhosszúságú vagy színű fénysugarak fognak keletkezni. A mint a hang magassága a hangvilla nagyságától függ, úgy itt a hullámhosszúság a molekulák fizikai sajátosságaitól fog függni, vagyis a különböző elemek gáznemű halmazállapotban a szilárd vagy cseppfolyós állapotban tanusított viselkedésüktől eltérően különböző hullámhosszúságú fényt fognak kibocsátani.

A rezgő rugalmas testek általában nem csupán egyetlen hangot adnak, mint a hangvilla, hanem a hangoknak egész sorozatát, a mely sorozatban egy hang azonban mindig az uralkodó. A többi együztengő hangtól függ a hangszínezet, a mely

különben egyenlő magasságú hangoknál különböző hangszereknél más és más, a mint ezt a 20. lapon bővebben kifejtettük. Valami hasonló folyamat megy végbe az izzó gázok fénykibocsátásánál is. A molekulák legtöbbször itt is többféle rezgést végezhetnek, sőt némely esetben igen sokfélét, mint pl. a vas gőzénél, mely több ezer különféle rezgést bocsát ki egyszerre.

Ezek után egészen világos, hogy az ilyen fény miképpen fog viselkedni a spektroszkópban. Minden más rezgés a spektroszkópban a résnek más, különböző képét, vagy fényes vonalat fog előidézni, melynek színe a rezgés hullámhosszúságától függ. A színekép e szerint elkülönített fényes vonalakkól fog állani. A hogy a fül a hang színezetéről felismeri a hangszert, úgy a szem a vonalas színeképről ráismer a fényt kibocsátó gáz minéműségére. Minden egyes chemiai elem vagy ennek vegyületei számára a vonalak száma és elrendeződése jellemző. Ez rávezet bennünket a színeképelemzés második törvényére:

2. Ha világítótest a spektroszkópban oly színeképet mutat, mely elkülönített fényes vonalakkól áll, akkor a világítótest gáznemű halmazállapotban van. A gázok chemiai természete a színekép vonalainak számából és csoportosulásából teljes bizonyossággal felismerhető.

A színeképelemzés harmadik törvényéhez kissé nehezebb út vezet, de a hangrezgéseknél tapasztalható hasonló jelenségek itt is meg fogják könnyíteni a megértést.

Oly testek, melyek csak bizonyos fajtájú rezgésekre képesek, mint pl. a hangvillák, közvetlen mechanikai hatás, pl. ütés vagy vonóval való meghúzás nélkül is rezgésbe hozhatók, megzendíthetők, még pedig éppen hangrezgések segítségével. A hangoknak illetén kiváltása az együttzengés vagy együttrezgés (resonantia) elvén alapszik. Ezt az elvet a következőképpen fogjuk legjobban megérthetni. Képzeljünk el pl. oly hangvillát, mely másodpercenként pontosan 400 rezgést végez, de a melyről egyelőre föltesszük, hogy nyugalomban van. Ezt a hangvillát érvék most olyan hanghullámok, melyeknek rezgésszáma másodpercenként pontosan 500. Az először érkező rezgés a hangvillára úgy fog hatni, mint valami könnyű lökés, úgy hogy a hangvilla ezáltal rezegni kezd, még pedig természetesen csak a neki egyedül



lehetséges másodpercenkénti 400 rezgést fogja megkezdeni. Az első rezgésre a hangvilla természetesen az első hanglökés irányában fog kitérni és éppen így az ötödik érkező hanghullám fog a hangvilla negyedik rezgésével a lökés irányában találkozni. Közben azonban pontos találkozás természetesen nem jön létre, sőt közepén,  $2\frac{1}{2}$  rezgésnél, az érkező hullám lökésiránya éppen ellentétje a hangvilla mozgásának, úgy hogy a kettő egymást pontosan megszünteti. Ezek a hanghullámok ennél fogva a hangvillát nem hozhatják állandó rezgésbe. De egészen más a helyzet, ha az érkező hang is pontosan 400 rezgést végez másodpercenként, más szavakkal, ha a hangvillát oly hang éri, mely a saját hangjával tökéletesen megegyezik. Ilyenkor a lökésirányok mindig megegyeznek, minden új hullámokozta lökés erősíti a megelőzőnek a hatását: a hangvilla erősen fog rezegni. Minden zongorajátékosnak sokszor lehet alkalma ezt kellemetlenül tapasztalni. Mihelyt a zongorán valamely rész (például gyertyatartó) meglazult, vagy ha az ablaküveg nincs erősen a keretbe szorítva, akkor ezek a tárgyak játékközben türehtelenül zörögnek, de a mint könnyen meggyőződhetünk, nem állandóan, hanem csak egy bizonyos hangnál. Ez a hang azután az, a mely az üvegtábla vagy a gyertyatartó saját rezgésével megegyezik.

Mínthogy a rezgések keltéséhez bizonyos erő szükséges, a mely ebben az esetben az érkező hanghullámokból ered, az utóbbiak természetesen veszítenek erejükből, vagyis a rezgéseket előidéző hang meggyöngül. Kísérletileg is be lehet bizonyítani ezt a jelenséget, melynek további tárgyalásainkban rendkívül fontos szerep jut.

Gondoljunk két helyiséget, melyeket rugalmatlan, pl. vastag nemezfal választ el egymástól, úgy hogy az egyik helyiségben keltett hangok a másikon nem hallhatók. Ebbe a falba vágjunk nyílást, melynek legnagyobb részét vékony, rugalmas fémmelzettel zárjuk el, olyformán, mint a harmonika nyelveinél. A nyílás közelében a másik helyiségből jövő hangokat egészen jól fogjuk hallani. Azonban mihelyt az a hang csendül meg, mely a fémmelzettel megfelel, akkor ez a nyelv szemmeláthatóan rezegni kezd, de egyúttal az illető hang észrevehetően gyöngül, esetleg egészen elhal. A hangok sorából éppen ez a hang fog hiányzani,

mert mintegy elnyeletett. Ha a nyílásba több nyelvet tennénk, melyek különféle hangmagasságokra vannak hangolva, akkor a hangok sorából éppen ezek a hangok tűnnének el.

Ez a hangtani kísérlet a fényhullámokra is közvetetlenül alkalmazható. A hangok sorozatának valamely izzó, szilárd vagy cseppfolyós testtől származó folytonos színekép az egyértékese. A hangvillának vagy a fémnyelveknek valamely izzó gáz felel meg, a melyről már tudjuk, hogy csak egyes határozott fényrezgéseket bocsát ki, a melyek a spektroszkópban a fényes vonalakat idézik elő.

Az előbb leírt kísérlethez hasonló kísérletet e szerint a következő elrendezéssel lehet megismételni. Valamely izzó szilárd testtől kiinduló fehér fény izzó gázon halad keresztül és azután a spektroszkópban vizsgálat alá kerül. A különféle rezgésidejű fény-sugarak legtöbbje akadálytalanul áthalad a gázon és folytonos színeképet idéz elő. De éppen azok a fénysugarak, a melyeknek rezgései a gáz saját rezgéseivel egyeznek, a gázt rezgésbe fogják hozni, de maguk veszíteni fognak erősségükből vagy pedig teljesen meg is szűnnek, ennél fogva a színeképből hiányzani fognak. De a hol a fény hiányzik, ott sötétség van; a színeképben tehát pontosan az említett hiányzó rezgéseknek megfelelő helyeken sötét vonalak fognak látszani. Természetes, hogy ezeknek a helyén fényes vonalak látszanának, ha a fény az izzó gáztól közvetlenül érkezett volna a spektroszkópba.

A viszonyok azonban még sem olyan nagyon egyszerűek, mint a milyeneknek eddig feltűntettük, mert hiszen az izzó gáz maga is bocsát ki rezgéseket, a melyekre eddig nem voltunk tekintettel. Ezért térjünk vissza még egyszer az előbbi hangtani kísérletünkhöz, melyet kissé módosítani fogunk. Gondoljuk el e célból, hogy valami úton, pl. folytonos fújtatással az ott említett fémnyelvek már rezgésben voltak s ennél fogva hangzottak, anélkül, hogy hanghullámok hozták volna őket rezgésbe. Ilyenkor a következőket vennők észre: Az illető hangok állandóan gyöngén hallatszanak; a míg ezek a hangok gyöngébbek azoknál, a melyek a másik helyiségből érkeznek, addig ezek az utóbbiak erejük átadása következtében még tetemesebben gyöngülnek a többi hangokhoz képest. Ha azonban a fémnyelvek rezgései már annyira erősek, hogy az így származott hangok erősebbek a másik helyiségből



jövő hangoknál, akkor természetesen jobban is hallatszanak, mint az utóbbiak s a kísérlet ebben az esetben egyáltalában el sem végezhető.

Tökéletesen hasonló folyamat megy végbe a fénynél is, sőt itt a hasonlóságot annyiban még pontosabban is fejezhetjük ki, a mennyiben a fényrezgések erőssége, miként azt már említettük, csupán a hőmérséklet magasságától függ. A sötét vonalakkal való kísérlet tehát csak addig sikerül, a míg az izzó gáz saját rezgései gyengébbek a rajta áthaladó fény rezgéseinél, vagy más szavakkal, a míg a gáz hőmérséklete alacsonyabb, mint az izzó szilárd test hőmérséklete. Ha a gáz hőmérséklete magasabb, akkor függetlenül bocsát ki fényt és ennél fogva a spektroszkópban folytonos színekpet fogunk látni *fényes* különálló vonalakkal. Ha a gáz és a szilárd test hőmérséklete pontosan egyenlő, akkor természetesen nem keletkezhetnek sem fényes, sem sötét vonalak, egyedül a folytonos színekp lesz látható s a gázból semmit sem fogunk észrevenni. Ezek alapján kimondhatjuk a színekpelemzés harmadik törvényét:

3. Ha világító test oly folytonos színekpet szolgáltat, melyben sötét vonalak jelennek meg, akkor ez a test izzó szilárd vagy cseppfolyós magból áll, melyet alacsonyabb hőmérsékletű gázzréteg vesz körül. A gáz természetét teljesen úgy lehet felismerni, mint a 2. törvénynél. Ha a színekp folytonos, de fényes vonalakból áll, akkor a fényforrás alkata ugyanaz, mint az előbb, csak hogy most a gázzréteg hőmérséklete magasabb, mint a szilárd testé.

E három törvény alapján megoldhatjuk a színekpelemzés főfeladatait: különválaszthatjuk a gáznemű halmazállapotot a másik kettőtől, a szilárd és cseppfolyós halmazállapottól és felismerhetjük a chemiai elemeket és vegyületeket, a mennyiben izzó gáznemű állapotban vannak. Még egy negyedik törvényt is megállapíthatunk, mely további fontos betekintést enged az izzó gázok fizikai állapotába.

Az imént egyszerűség kedvéért azt mondtuk, hogy a hangvilla vagy fémmylev csak úgy hozható együttrezgésbe vagy együttzengésbe, ha a rezgést kiváltó hangnak és a hangvillának rezgésszámai pontosan megegyeznek. De könnyen beláthatjuk, hogy ez

nem szigorúan így van, hanem hogy a rezgések már akkor is észrevehetően kiváltódnak, ha a kétféle rezgésidő csak igen közel egyenlő, ha pl. az előbbi példában a hangvillát érő hang 401 rezgést végezne másodpercenként. Ebben az esetben mintegy 100 rezgésen át tartana az erősödés folyamata s csak 200 rezgés után kezdődne az ellenhatás. Sőt ezek a rezgések a hangvilla rezgésidejére közvetlenül hatnának, a mennyiben a hangvilla 401 rezgést végezne másodpercenként 400 rezgés helyett és pedig annál jobban, mennél erősebbek a hangvillát érő rezgések.

A fényhullámoknál is tapasztalhatunk valami hasonló jelenséget. Ha a rezgések nem nagyon erősek, tehát aránylag alacsony hőmérsékleten, s ha az izzásban levő gázok igen kevésbé sűrűek, akkor valóban csak néhány egészen határozott hullámhosszúságnak megfelelő fényt fognak a gázok magukból kibocsátani. Ha azonban a hőmérséklet emelkedése következtében a rezgések erőssége növekszik, vagy pedig ha a gáz nyomását nagyobbítjuk, akkor a legközelebbi rezgések is belevonatnak és pedig annál messzebb menő terjedelemben, mennél erősebben hatnak közre az említett tényezők. A szomszédos rezgések megindítása a spektroszkópban csak úgy nyilvánulhat, hogy közvetlenül a fényes vonalak mellett is kezd fény mutatkozni, más szóval a vonalak kiszélesednek. De minthogy ez a hatás a távolabb eső rezgések vagy hullámhosszúságok számára természetesen csekélyebb, mint a közvetlen közelben levők számára, ezért a távolabb eső rezgések előidézte fény szükségképpen gyengébb, mint a vonalhoz közelebb eső rezgéseké, vagyis a vonalak egyidejűleg elmosódottakká válnak. Különösen a gáz nyomásának növelésével annyira fokozható ez a jelenség, hogy az egyes vonalak egymásba folynak és így végül a gáz is adhat folytonos színekpet. Ez könnyen érthető, mert hiszen a nyomás növekedésével a gázmolekulák mindinkább közelebb és közelebb kerülnek egymáshoz, mozgásukban mindjobban akadályozni fogják egymást, míg végül a gázban olyanféle állapot uralkodik, mint valami szilárd vagy cseppfolyós testben.

Ha változatlan nyomás mellett a gázréteg vastagságát növeljük, akkor ennek következtében a vonalak éppen úgy kiszélesednek, mint a hőmérséklet vagy nyomás növelése következtében. A hanghullámoknál nem tapasztalható ehhez hasonló jelenség.



A második és harmadik törvény alapján megismertük, hogy gázokban minő viszony van a fény-kibocsátás és fény-elnyelés között, a miből azután a fényes és sötét vonalak egyértékűsége következett. Hasonló következtetéseket vonhatunk előbbi megfontolásainkból is. Ha valamely izzó gáz állapota olyan, hogy fényes, széles és elmosódott vonalakat ad, akkor, ha melegebb testből kiinduló sugarak hatolnak e gázon keresztül, a sötét vonalak itt is szélesek és elmosódottak lesznek. Ezek alapján kimondhatjuk a színképelemzés negyedik törvényét:

4. Ha valamely színeképben megjelenő fényes vagy sötét vonalak szélesek és elmosódottak, akkor ebből az következik, hogy a szóban forgó gáz vagy nagyon magas hőmérsékletű, vagy erős nyomás alatt áll, vagy rendkívül vastag réteget alkot, vagy pedig végül, hogy ezen okok közül egyidejűleg több is hat közre.

Ezeket a törvényeket a következőkben sokszor fogjuk felhasználni. E törvények a színképelemzés tanából felölelik mindazt, a mi az égítetek chemiai és fizikai állapotának kutatására alkalmazható.

A fentebbiekben érthetővé igyekeztünk tenni mindazt, a mit KIRCHHOFF az ő munkálataiban matematikai szigorúsággal bizonyított és mindazt, a mi a KIRCHHOFF-féle törvényben foglalható össze. Miután kiderítettük a színképelemzés elméletének céljait és törekvéseit, sokkal könnyebb lesz a KIRCHHOFF-féle törvény pontos fizikai következményeinek megértése. Az ehhez szükséges alapfogalmakat már az első szakaszban kifejtettük.

Nagyon fontos kiemelni azt, hogy a KIRCHHOFF-féle törvény és a belőle vont következtetések is csak tiszta hőmérsékleti sugárzásokra alkalmazhatók. Hőmérsékleti sugárzáson pedig olyan sugárzást kell értenünk, melynek intenzitása, a kibocsátóképeességet nem tekintve, egyedül csak a hőmérséklettől függ. Ismeretes, hogy egész sor olyan sugárzás van, melyek nem tesznek eleget e föltételnek, pl. az a sugárzás, mely akkor keletkezik, ha báriumplatincianür-ernyőt RÖNTGEN-sugarak hatásának teszünk ki, ilyen a kalcium kénvegyületeinek (kalciumszulfid) utóvilágítása, továbbá a világító bogarak és baktériumok fénye. Mindezeket a sugárzásokat a tárgyalásból ki kell zárunk.

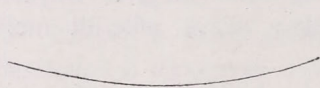
A KIRCHHOFF-féle törvényben a kibocsátásnak és elnyelésnek csupán egymáshoz való viszonya szerepel; arra, hogy mekkora e fizikai adatok abszolút nagysága, semmiféle felvilágosítással sem szolgál. Az előbb említett esetek kizárásával a törvény rendkívül általános jellegű. Szilárd, cseppfolyós és gáznemű testekre egyaránt érvényes, akár tiszta elemek legyenek, akár bonyolult vegyületek. De az az állítás, hogy a kibocsátó- és elnyelőképeség hányadosa vagy egymáshoz való viszonya minden testre nézve ugyanaz, csak akkor érvényes, ha egészen határozott hőmérsékletre és egészen határozott hullámhosszúságra szorítkozunk. Így pl. nem szabad alkalmaznunk a KIRCHHOFF-féle törvényt, ha a test kibocsátóképeségét bizonyos hőmérsékleten vizsgáltuk meg, elnyelőképeségét pedig valamely más hőmérsékleten mértük. Éppen úgy nem lehet a törvényt egyszerűen alkalmaznunk akkor, ha pl. a kibocsátóképeséget a vörös sugarakra nézve állapítottuk meg, az elnyelőképeséget pedig csak a zöld sugarakra nézve sikerült megmérnünk.

Tehát határozott hőmérsékletnél és hullámhosszúságnál a kibocsátásnak az elnyeléshez való viszonya valamennyi test számára állandóan ugyanaz. Más hőmérsékletnél és más hullámhosszúságnál ennek a viszonynak számértéke természetesen más, de nem függ egyébtől, mint a hőmérséklettől és a hullámhosszúságtól, más szóval ez a viszony egész általánosságban a hullámhosszúságnak és a hőmérsékletnek függvénye. Ezt a függvényt nevezték el KIRCHHOFF-féle függvénynek. KIRCHHOFF maga nem állapította meg ennek a függvénynek a matematikai alakját, de megjegyezte, hogy a színeképelemzés jelentősége majd csak akkor érvényesül teljes mértékben, ha sikerül e függvény valódi alakját felfedezni. A függvénynek csak néhány általános tulajdonságát tudta megállapítani, de ezek már arra képesítették, hogy levezesse a színeképelemzés legfontosabb tényét, a fényes és sötét vonalak azonosságát. Néhány éve, hogy WIEN és PLANCK megtalálták a KIRCHHOFF-féle függvény valódi alakját. De kövessük kissé a fejlődés történelmi menetét és elégedjünk meg egyelőre KIRCHHOFF következtetéseivel.

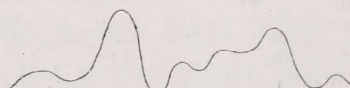
Kísérletekkel megállapítható, hogy adott hullámhosszúság számára miképpen változik a testek kisugárzóképesége a hőmérséklettel. A mi szemünk a sugárzásokat csak akkor kezdi észrevenni, mikor a hullámhosszúság mintegy  $0.8 \mu$ -t tesz ki; ekkor a leg-



sötétebb vörös érzete támad. Közönséges szobahőmérsékleten a testek sötét térben nem világítanak. Ebből következik, hogy nem bocsátanak ki oly sugárzást, melynek hullámhosszúsága egyenlő lenne az említett hullámhosszúsággal, hanem csak nagyobb hullámhosszúságú sugarakat, a mint ezt az észlelhető hősugárzás bizonyítja. Csak ha körülbelül  $500^{\circ}$ -ra hevítjük fel a testeket, akkor kezdenek saját fényt kibocsátani,  $0.8\mu$  hullámhosszúságú sugarak tehát csak ezen a hőmérsékleten löveltetnek ki. DRAPER amerikai fizikus már a múlt század közepe táján fedezte fel a nevével elnevezett törvényt, a mely szerint valamennyi test ugyanazon a hőmérsékleten kezd világítani. Ennélfogva valamennyi testnél mintegy 500 fokos hőmérsékletig  $0.8\mu$ -nál kisebb hullámhosszúságok számára a kibocsátóképesség értéke nulla, tehát e kibocsátóképességnek az elnyelőképességgel való hányadosa is nulla, vagyis



64. rajz.



65. rajz.

ennél a határnál a KIRCHHOFF-féle függvény értéke is nulla. Ha a hullámhosszúságok  $0.8\mu$ -nál kisebbek, akkor a hőmérsékletnek még nagyobbnak kell lennie, hogy a függvénynek észrevehető értéke legyen, a mely érték azután a hőmérséklettel emelkedik. Ezt a közvetetlen szemlélet bizonyítja: mennél erősebben hevítünk valamely testet, kisugárzása annál erősebbé válik. Valamely tetszőleges hullámhosszúság számára tehát a függvény menete a következő: Bizonyos hőfok alatt nulla, vagy legalább is elenyészően kicsiny, ezután kezd észrevehetővé válni és az emelkedő hőmérséklettel folytonosan növekszik. Ebből továbbá az következik, hogy a KIRCHHOFF-féle függvényben a hőmérséklettel való összefüggés valami egyszerű módon jut kifejezésre, vagy másszóval a függvény menete egyszerű. Ismeretes, hogy mennyiségek összefüggését, valamely mennyiség függvényét, görbe vonalakkal lehet ábrázolni. Valamely függvény menete egyszerű, ha görbéjén nincsenek feltűnő kiugrások vagy behajlások. Egyszerű menetű függvény lenne pl. az, melyet a 64. rajz mutat, míg a 65. rajz már nagyon bonyolult függvénynek a kifejezője.

Függvényünk legfontosabb tulajdonságával kell most foglalkoznunk, melyet KIRCHHOFF ugyan még nem tudott bebizonyítani, de analógián, még pedig igen biztos analógián alapuló következtetésével igen valószínűvé tett. A tapasztalás eddig arra tanított bennünket, hogy a természetben előforduló összes függvények vagy törvények nagyon egyszerűek, ha teljesen általánosak és nem függnek a testek különleges tulajdonságaitól. Példaképpen csak a fölötte egyszerű nehézkedési törvényt akarjuk említeni. De félreértések elkerülése végett meg kell jegyeznünk, hogy nem abszolút egyszerűségről van itt szó, hanem arról, hogy bár a törvények a valóságban talán nagyon bonyolultak, vagy matematikailag egyszerűen nem is fejezhetők ki, de azért a mi ismereteink vagy a mi pontosságkövetelményeink szempontjából az egyszerű kifejezőmód is elégséges.

Így KIRCHHOFF jogosnak hitte azt a föltevést, hogy a szóban forgó függvény állandó hőmérséklet mellett, de változó hullámhosszúság mellett is egyszerű függvény. E föltevés későbbben fényesen bebizonyosodott. A függvény tehát állandó hőmérséklet és változó hullámhosszúság mellett egyszerű és folytonos menetet mutat.

Most már csak egyetlen, de nagyon fontos lépést kell tennünk, hogy eljussunk ahhoz a nevezetes következtetéshez, a mely a fényes és a sötét vonalak azonosságát mondja ki.

Már láttuk, hogy izzásba hozott szilárd vagy cseppfolyós test először vörös sugarakat bocsát ki, azután a hőmérséklet emelkedésével sárgákat s. i. t. Végül a fehér izzás állapotában a vöröstől az ibolyáig az összes látható sugarakat bocsátja ki. Színképében egyetlen szín sem hiányzik, a színkép folytonos.

Pontosabb matematikai fogalmazásban ezt úgy mondhatnók, hogy magas hőmérsékleten a kibocsátóképeségnek minden hullámhosszúság mellett észrevehető értéke van. Minthogy ez valamennyi szilárd és cseppfolyós testre nézve érvényes, azért színképeik hasonlítanak egymáshoz. A közönséges spektroszkópi megfigyelés tehát nem világosíthat fel e testek természetéről.

Izzó gázoknál egészen mások a viszonyok. Ezeknél a fénykibocsátás, a mint azt már a 20. lapon említettük, egészen más módon jön létre, mint a szilárd vagy cseppfolyós testeknél.



A gázoknak megvan az az érdekes fizikai tulajdonsága, hogy kibocsátóképességük a legtöbb hullámhosszúság számára még igen magas hőfokon is nulla vagy közel nulla és csak egyes külön hullámhosszúságoknál ér el észrevehető értéket, ezért színképük legnagyobb részben sötét s csak azokon a helyeken tűnnek fel fényes vonalak, a melyek az említett egyes hullámhosszúságoknak felelnek meg. Az, hogy mely hullámhosszúságoknak van meg az a tulajdonsága, hogy hirtelen magas kibocsátóképessége van, a gáz természetétől függ és minden gázra nézve különböző.

Minden gáznak megvan a maga sajátos kibocsátóképessége, mely a spektroszkópban mint vonalas színkép válik láthatóvá s a gáznak felismerését föltétlen biztossággal teszi lehetővé. Ellentétben az izzó szilárd és cseppfolyós testekkel, izzó gázoknál a színeképelemzés segítségével közvetlenül rá tudunk ismerni a vizsgált gáz természetére, habár finomabb vizsgálatoknál itt is nehézségek merülhetnek fel, amennyiben ugyanaz a gáz különböző föltételek között, különösen különböző hőmérsékletek mellett, különféle színképeket adhat.

Ha valamely gáz kibocsátóképességét mint a hullámhosszúság függvényét grafikailag akarnók ábrázolni, a 65. rajzéhoz hasonló görbét kapnánk. A gázok kibocsátóképessége e szerint a hullámhosszúságnak nagyon bonyolult függvénye. De a kibocsátóképességnek az elnyelőképességhez való viszonya, vagyis a KIRCHHOFF-féle függvény, a mint azt az imént kimutattuk, a hullámhosszúságnak igen egyszerű függvénye. Ez a két körülmény csak úgy egyeztethető össze egymással, ha a kibocsátóképesség is ugyanolyan bonyolult függvénye a hullámhosszúságnak, mint az elnyelőképesség, ha tehát pl. mindkettőnek ugyanazokon a helyeken vannak legnagyobb vagy legkisebb értékeik. A sötét és fényes vonalak azonosságát a kibocsátásnak és elnyelésnek az az érdekes viselkedése magyarázza meg, mely, miként már tudjuk, az együttzengésnek valamely módján alapszik. Kibocsátás és elnyelés pontos ellentétben állanak egymással. Ha valamely gáznál bizonyos hullámhosszúságra nézve a kibocsátás legnagyobb értéket mutat, úgy hogy a színképben fényes vonal jelenik meg, akkor ugyanezen hullámhosszúságnál az elnyelés esetében is legnagyobb érték jelenik meg, mikor tehát a fény keresztülhalad a gázon,

az egész fény előidézte színekben e hullámok helyén fényhiánynak, sötét vonalnak kell mutatkoznia. Ezzel elérkeztünk a színek-elemzés leglényegesebb pontjához, a melylyel bebizonyosodott, hogy ha valamely távoli égitest színekében sötét vonal jelenik meg ott, a hol a laboratóriumban valamely izzó gáz fényes vonalát látjuk, akkor azon az égitesten szükségképpen ugyanezen izzó gáz egy rétegének kell lennie, a melyen az égitest felületéről kilövelő fény keresztülhalad, a miközben részben elnyelést szenved.

Az ilyen sötét vonalakkal átszelt színek e szerint elárul nekünk valamit annak az égitestnek a szerkezetéről, a melyről származik, t. i. azt, hogy az elnyelő gázréteg az égitest felületének fénykibocsátó rétege felett fekszik. Azonkívül még azt is megtudjuk, hogy az elnyelő réteg izzó állapotban van ugyan, de hogy hőmérséklete alacsonyabb, mint a fénykibocsátó rétegé. Ez abból a törvényből következik, a melyet a 139. lapon az együttzengés mechanizmusából vezettünk le s a mely így szól: Izzó gáz a nála magasabb hőmérsékletű fényforrás fehér fényéből azokat a sugarakat nyeli el, a melyeket világító állapotban önmaga kibocsát.

A KIRCHHOFF-féle törvényből még egy tény következik, mely a fekete testnek az első szakaszban adott meghatározásával áll kapcsolatban. Ez a meghatározás azt mondja, hogy abszolút fekete test az, a mely mindenféle sugárzást teljesen elnyel, a melynél tehát minden hullámhosszúságra és minden hőmérsékletre nézve az elnyelőképesség értéke az egységgel egyenlő. A KIRCHHOFF-féle törvényből következik, hogy ebben az esetben a kibocsátóképesség értéke egyenlő a KIRCHHOFF-féle függvény értékével (mert itt a kibocsátóképességet az elnyelőképességnek *egységnyi* értékével osztjuk, a mely esetben a hányados ugyanaz, mint az osztandó).

Abszolút fekete test a természetben ugyan nincsen, de mesterségesen igen közelítőleg előállítható és pedig ugyancsak a KIRCHHOFF-féle törvény alapján. Már KIRCHHOFF jelezte, hogy minden olyan üreg belsejében, melynek burka a sugárzás számára áthatlan (fémek) s a melyben mindenütt ugyanaz a hőmérséklet uralkodik, a sugárzás olyan, mint a burok hőmérsékletével egyező hőmérsékletű fekete testé. Ez nagyon egyszerűen bebizo-



nyítható. Képzeljük, hogy a burok valamelyik pontjából valamely határozott irányban sugár indul ki, akkor ez a sugár csakhamar a buroknak valamely másik pontjához fog érkezni. Minthogy a burok anyagának nincsenek meg az abszolút fekete test sajátosságai, azért a sugárnak csak egy része nyelődik el, a többi része visszaverődik és pedig érdes felület esetében mindenféle irányban. Ezek a visszavert sugarak útjukban valahol ismét érik a burkot, a mikor egy rész ismét elnyelődik, a többi rész pedig visszaverődik. A visszavert résznek folyton kisebbednie kell, mert állandóan történik elnyelés, s végül számtalan visszaverődés után teljesen eltűnik, nullára süllyed; másszóval a burok mindent teljesen elnyelt és éppen ez az abszolút fekete test tulajdonsága. Ez természetesen mindazokra a sugárzásokra érvényes, a melyek az üreg belsejében maradnak. És minthogy a burok áthatatlansága következtében idegen sugárzás be nem hatolhat, a burok belsejében a sugárzás valóban olyan, mintha a burok abszolút fekete anyagból állana.

Ha a burkon kis nyílást készítünk, a fekete test sugárzása ezen kiléphet és így kísérletileg megvizsgálható. De nem szabad elfelejtenünk, hogy mihelyt a burkon nyílás van, akkor a fekete sugárzás megvalósításához szükséges föltételek nincsenek meg többé, mert egyrészt a nyíláson át másféle sugárzás hatol be az üreg belsejébe, másrészt ezen a helyen nincsen sem elnyelés, sem visszaverődés. De az is világos, hogy az ebből származó hiba annál kisebb, mennél kisebb a nyílás a burok felületéhez viszonyítva.

A méretek kellő megválasztásával tehát lehetőleg megközelíthetjük a fekete sugárzást.

A milyen könnyűnek látszik ezek alapján a fekete test előállítása, éppen oly nagyok a leküzdendő technikai nehézségek, mikor oly test készítéséről van szó, mely nagyon különböző, de pontosan meghatározott hőmérsékletek mellett lehető nagyfokú közellítéssel szolgáltatson fekete sugárzást. Ezt a nehézséget csak az utolsó években sikerült a fizikusoknak, így elsősorban KURLBAUM-nak, LUMMER-nek és PRINGSHEIM-nek leküzdeniök. Különböző szerkezeteket találtak ki, a melyek között a legelőnyösebb talán az elektromosan fűtött testé, mert ennél minden tetszésszerű hőmérséklet elérhető közel egészen a platina olvadáspontjáig

(mintegy  $2000^{\circ}$  abszolút hőmérséklet; az abszolút hőmérséklet skálája  $-273^{\circ}\text{C}$ -nál kezdődik).

A fekete test belül befeketített porcelláncsöből áll, mely egyik végén nyitott, másik végén pedig két kis nyílás van, melyeken át vékony drótok vonulnak. A cső belsejét választófalak különféle rekeszekre osztják, a melyek egymással a választófalak nyílásain át összefüggnek. A porcelláncsövet kívül szorosan hozzásimuló vékony platinapléh veszi körül, ezt meg azbesztburok védi a hő-sugárzások ellen. A platinacsövet a rajta keresztülmenő elektromos áram felmelegíti s az áramerősség szabályozásával elérhetjük, hogy a platinacső a gyenge megmelegedéstől a fehér izzásig minden hőfokot felvehet.

A platinacső hője lassanként a porcelláncsőre megy át. Egyenletes árammal való hosszabb melegítés után egyensúly áll elő az áramszolgáltatva meg a sugárzás és vezetés következtében kifelé leadott hő között, úgy, hogy a cső hátsó részében, a tulajdonképpen fekete testben, mindenütt ugyanaz a hőmérséklet uralkodik. Az, hogy ez az állandó állapot mikor következik be, az izzást előidéző hőmérsékleteken egyszerű megtekintéssel könnyen megítélhető.

Ebben az esetben, miként fentebb láttuk, közömbös, hogy minő anyagból áll a burok; az üreg belső részei, melyeket előbb még meg lehetett különböztetni, különösen a választófalak és a belső platinadrótok most eltűnnek és az egész belső üreg teljesen egyenletesen izzó felületnek látszik.

Az üreg hőmérséklete a benne elhelyezett thermoelem segítségével állapítható meg. Ez a thermoelem platinából és platinának rhodiummal való ötvényéből készült lemezekből áll, a melyektől a drótok a porcelláncső hátsó falának említett nyílásain át kifelé közvetlenül olvadó jéggel telt edénybe vezetnek, úgy, hogy a thermoelem hátsó forrasztási helye állandóan  $0^{\circ}$  hőmérsékletű. A hőmérsékletet magát, mint rendesen, galvanométerrel mérjük. Később fogjuk tárgyalni azokat az eredményeket, a melyekre a mesterséges fekete test segítségével jutottak. Előbb még kissé behatóbban kell foglalkoznunk a már röviden érintett DRAPER-féle törvénnyel, a mi néhány érdekes élettani természetű fejtegetésre fog alkalmat szolgáltatni.

Összhangzásban a KIRCHHOFF-féle törvénnyel DRAPER tör-



vénye azt mondja, hogy valamennyi test ugyanazon a hőmérsékleten, mintegy  $525^{\circ}\text{C}$ -on kezd világítóvá lenni. Ezen a hőmérsékleten a testek először gyenge vörös fényt mutatnak, mely a hőmérséklet emelkedésével narancsszínbe s végül fehérbe megy át, a rövidebb hullámhosszúságú sugarak fokozatos feltűnésével karöltve.

Azt, hogy mikor jelennek meg valóságban ezek a különböző sugárzások, nem lehet oly közvetlenül megfigyelni, csak a szubjektív észrevéés az, a mi észlelésünk körébe esik. Ha pl. azt kellene megállapítani, hogy pontosan milyen hőmérsékleten kezdődik az izzás, akkor különböző megfigyelők kétségtelenül különböző, bár egymástól csak kevésé eltérő értékeket fognak találni.

De ha ezt nem is tekintjük, a DRAPER-féle törvény szigorú megvizsgálása szükségképpen arra vezet, hogy ez a törvény nem igazolódik be, még pedig azért, mert a különféle testek kibocsátóképessége különböző. Itt emlékeztetbe idézzük a 23. oldalon elmondott példát, melyben platina és üveg egyidejű izzásáról volt szó. Az üvegnél az izzás kezdetekor a gyöngébb sugárzás még a szem ingerküszöbe alatt fog maradni, míg a platina erősebb sugárzása ezt a küszöböt már átlépi. Az izzás kezdetének szubjektív észrevéése tehát a platinánál előbb fog bekövetkezni, mint az üvegnél, másszóval a DRAPER-féle törvény nem fog beigazolódni.

Valójában pedig úgy áll a dolog, hogy minden szilárd vagy cseppfolyós test minden hőmérsékleten minden hullámhosszúságú sugarakat bocsát ki, mert ebben a tekintetben a KIRCHHOFF-féle függvény semmiféle korlátozásnak sincs alávetve, a mint ezt alább látni fogjuk. Azonban alacsony hőmérsékleten a rövidebb hullámok sugárzásenergiája olyan csekély, hogy gyakorlatilag még a legfinomabb mérőeszközökkel sem vehető észre. Ezért a DRAPER-féle törvény az igazsághoz való közeliedésnek tekinthető.

Azt, hogy a DRAPER-féle törvény helyes-e, kísérletileg alig lehetséges megvizsgálni. Mert nagyon tévednénk, ha azt hinnők, hogy pl. a fotografiai módszerek alkalmazásával megszabadulhatunk az imént leírt szubjektív hatásoktól. De átvitt értelemben a fotografuslemez számára is van valami ingerküszöb, úgy hogy a

kibocsátóképességtől való függés megmarad, és ez az ingerküszöb is úgyszólván szubjektív különbségeknek van alávetve a különböző fajtájú lemezeknél.

De senkisésem kételkedett a DRAPER-féle törvény objektív helyességében, a mennyiben arra szorítkozik, hogy általánosságban a hosszabb hullámok, tehát a vörös színűek azok, a melyek az emelkedő hőmérsékletnél a szem ingerküszöbét először lépik át. Annál jogosultabb volt WEBER fizikus meglepődése, mikor az általa az 1886. évben megismételt DRAPER-féle észlelések teljesen más eredményre vezettek. WEBER teljesen kipihent szemmel, teljesen sötét szobában kísérletezett és azt találta, hogy a fényjelenségek első megjelenése nem is a vörösizzással veszi kezdetét, hanem hogy már előbb valami sajátságos komor, ólomsötétes-szürke fény lövelődik ki, mely a megszokott világítással ellentétben nyugtalanul viselkedett és lobogott. WEBER azért »kísérteties szürké«-nek nevezte ezt a fényt. A hőmérséklet fokozása alkalmával ez a szürke fény világosabbá vált, anélkül, hogy jellegéből valamit veszített volna, míg lassanként valami sárgás-szürke színbe ment át. További hőmérséklet emelkedésénél mutatkozott azután hirtelenül a rendkívül világos tűzvörös fénynek az első nyoma s ugyanebben a pillanatban megszűnt a fénylés nyugtalan volta, a további folyamat azután a már ismert módon folytatódott.

E szürke fény spektroszkópi vizsgálatából kitűnt, hogy belőle a színekép sárgás-zöld részében szürkének látszó sáv származik, a mely a hőmérséklet emelkedésénél szürke vagy sárgás-szürke színezetének megtartása mellett a színeképben kétoldalt kiszélesedett. A mikor a szabad szem számára a világos-vörös fény első benyomása keletkezett, ugyanabban a pillanatban a spektroszkópban a szürke sáv mellett a vörös részben fényes sáv tűnt fel.

De azt, hogy itt nem fizikai, hanem élettani jelenségről van szó, csakhamar sikerült kimutatni, még pedig az úgynevezett PURKINJE-féle jelenség alapján. Fényben erős színeképben a fényesség maximuma a sárgában van. A mint a fényerősség csökken, ez a maximum mindinkább a színekép erősebben törő részei felé tolódik el, míg végül az eltűnés alkalmával a zöldes-kék részbe kerül. Ennek alapján minden nehézség nélkül belátható, hogy



mégis csak a zöld színnek kell először láthatóvá válnia még akkor is, ha a valóságban a DRAPER-féle törvény értelmében emelkedő hőmérsékletnél a nagyobb sugárzásenergia kezdete a vörös színnel indul, és pedig azért, mert gyenge fénynél a zöld szín számára a szem ingerküszöbe sokkal mélyebben fekszik, mint a vörös szín számára.

Ám ezzel még nem magyaráztuk meg, hogy az először mutatkozó zöld szín miért kelti a szürke szín benyomását s hogy miért látszik ez a szürke szín olyan nyugtalannak. Ezt LUMMER magyarázta meg. Ő magyarázatánál a látásnak KRIES-féle elméletére támaszkodott, mely szerint a szem nemcsak világosság és sötétség között tud különbséget tenni, hanem a fény különféle hosszúságú hullámait mint színeket érzi. Úgy látjuk, hogy a színérzésnél az úgynevezett szembíbornak van fontos szerepe, mely a szem pihent állapotában mint vörös színű folyadék van jelen a reczehártya elemi részeiben. Nagy bizonyossággal állíthatjuk, hogy azok a reczehártyarészek, a melyek nem tartalmazzák ezt a festékanyagot, nem is alkalmasak arra, hogy színérzést közvetítsenek, vagy legalább is nem valamennyi színt érznek meg. Biztos, hogy szembíbor csak a csapokban van jelen és a pálczikákban nincsen. Ennek alapján KRIES fölteszi, hogy a csapok a szem színérző készülékei, míg a pálczikák csupán a világosság különféle fokozatait érzik, a fehértől kezdve a szürkén át a feketéig. A KRIES-féle elmélet már most azt mondja, hogy a szemnek ez a két különböző látókészüléke, vagyis a szín iránt érzékeny és a szín iránt érzéketlen vagy színvak részek egymással mintegy versenyre kelnek és pedig oly módon, hogy kellő világosság mellett mindig az első van túlsúlyban, de igen gyöngye fény mellett az utóbbi még tud fényérzeteket ébreszteni, ellenben a színérző-készülék számára az ingerküszöb már magasabban fekszik, ilyenkor tehát az már nem érez. Ebből azután az következik, hogy a leggyöngébb fénybenyomásokat minidig színteleneknek vagyis szürkéknek kell látnunk.

Csapok és pálczikák az egész reczehártyán mindig együtt fordulnak elő, egyetlen kicsiny helynek, az ideghártya-gödörnek (sárga folt) kivételével. Ez az ideghártya-gödör (l. 59. lap) az éles látásra kiválóan alkalmas és azért öntudatlanul is a szemet mozgató izmok segítségével mindig arra a pontra irányítjuk, a melyet

éppen szemügyre akarunk venni. Az ideghártya-gödörben csak csapok vannak, ennél fogva ez a rész csak kevert színes fénynél közvetítheti a szürke vagy fehér szín érzetére. Ha tehát sötétben figyelünk meg oly testet, melynek hőmérséklete fokozatosan emelkedik, akkor a következő jelenségeknek kell végbemenniök: Bizonyos, mintegy  $400^{\circ}\text{C}$  hőmérséklet elérésénél a reczehártyán levő összes pálczikákat inger éri s az agyban a szintelen világosság érzése támad. Ez a szürke izzás. A hőmérséklet további emelkedésekor egyelőre csak a szürke szín világosságának érzete növekszik. Mint-hogy a csapok még nem éreznek ingert, azért az ideghártya-gödörtől az agyhoz még semmiféle fénybenyomás ingere sem érkezik. Ennél fogva az a sajátságos állapot következik be, hogy a reczehártyának csak ama helyei éreznek fénybenyomásokat, a melyek rendes körülmények között csak közvetett látásra szolgálnak. Olyasmit látunk tehát, a mit nem nézünk s azért önkéntelenül a szokott szemmozgásokat végezzük, hogy a fényforrás helyét az ideghártya-gödörrel szemlélhessük. Ez az igyekvés természetesen eredménytelen marad s innét származik a szürke izzás reszkető nyugtalansága. Ez a jelenség csak akkor szűnik meg, amikor a hőmérséklet további emelkedésével a csapokat is ingerli a vörös fény megjelenése és egyúttal különösen az ideghártya-gödör megkezdi szokott tevékenységét, a közvetetlen látást.

KIRCHHOFF óta számos fizikus fáradozott azon, hogy a Kirchhoff-féle függvény valódi alakját megtalálja. A fölfedező e függvénynek csak általános tulajdonságait tudta jelezni, a melyek azonban elégségesek voltak arra, hogy a színeképelemzést a fizikának és különösen az asztrofizikának egyik legfontosabb ágává fejlesszék. De világos volt, hogy a színeképelemzés teljes jelentősége csak e függvény ismeretével lesz nyilvánvalóvá, s hogy segítségével nem csupán a minőségi, hanem a mennyiségi színeképelemzés alapjai is lerakhatók. Két út kínálkozott, a melyen haladva célhoz juthatunk. Az egyik az elmélet útja, mely az újabb fény- és elektromosság-elméletek továbbfejlesztésén alapult, a másik a kísérlet útja, mely már amúgy is ki volt jelölve. Emlékezzünk vissza arra, hogy e függvény valójában nem egyéb, mint az abszolút fekete test kibocsátóképessége, a mennyiben egyedül a hőmérséklettől és hullámhosszától függ.



Mind a két irányban végeztek vizsgálatokat s az elméleti és kísérleti fizikusok szoros együttműködése végül is a kívánt sikerre vezetett.

Az elmélet eredményeit közvetlenül azokkal az eredményekkel hasonlították össze, a melyeket a mesterséges fekete test szolgáltatott, s így vagy helyeseknek ismerték fel, vagy mint helyteleneket elvetették. A kísérletezés terén elsősorban KURLBAUM, LUMMER és PRINGSHEIM nevét kell említenünk, az elmélet terén pedig WIEN és PLANCK nevét. Az elmélet betetőzését az a pontos és világos matematikai képlet adta meg, mely a Planck-féle energia-egyenlet néven most már néhány év óta sokoldalú alkalmazást talál. Nem foglalkozhatunk itt a megoldás tetemes elméleti nehézségeinek kifejtésével. Előre látható volt, hogy végre is a Kirchhoff-féle függvénynek aránylag egyszerű kifejezéséhez fogunk jutni. Hiszen már KIRCHHOFF maga is figyelmeztetett arra, hogy minden általános érvényű törvénynek egyszerűnek kell lennie.

De azok a nehézségek is tetemesek voltak, a melyek a függvény kísérleti megállapításának útjában állottak. Már fentebb felhívtuk a figyelmet e nehézségek egyikére, mely a fekete test előállításán fordult meg. A következőkben a másik nehézségre fogunk röviden rámutatni.

A nagyon meleg testekből kiinduló sugárzások igen erősek és könnyen mérhetők meg nagy pontossággal; de nem úgy az alacsony hőmérsékletű testek sugárzásai, a melyek különösen a színeképpé való szétbontás után szerfölött gyengék. Ezért oly rendkívül nehéz e sugárzások mérése, mely utóvégre is a sugárzástól ért testek hőmérsékletváltozásán alapszik. Hőmérővel való kimutatásuk s még inkább mérésük teljesen lehetetlen, sőt még a különben annyira érzékeny thermoelemek is majdnem teljesen felmondják a szolgálatot. Egyedül a bolométeres mérő-módszer alkalmazható itt még eredményesen. A bolométer lényegében felette vékony — egy ezredrész milliméter vastagságú — platinalamezből áll, melynek elülső felülete be van kormozva s a sugárzás felfogására való. A lemezen át gyöngye elektromos áramot vezetünk, melynek erőssége Wheatstone-féle híd segítségével fölötté érzékeny galvanométerrel megmérhető. Az áramerősség a bolométerlemez ellenállásától függ, az ellenállás pedig a

hőmérséklettel áll összefüggésben. A hőmérséklet emelkedésével az ellenállás növekszik, az áramerősség ennek következtében csökken s vele együtt a galvanométer kitérése is. Ha a bolométerlemez lassanként egymásután a színek különböző pontjaiba visszük, akkor a jelzett módon a galvanométer tűjének különböző kitérései alapján meg lehet mérni a lemez hőmérsékletét, mely a sugárzásenergiával függ össze. Ily módon oly kicsiny hőmérséklet-különbségeket sikerült felismerni, melyek a Celsius-foknak csak milliomodrészét tették ki.

Lényegében a sugárzás térbeli energiaátvitel. Ha a sugárzás útjában tökéletesen elnyelő testtel találkozik, akkor mint fény-sugárzás megszűnik és hővé változik át, a minek következtében az elnyelő test hőmérséklete emelkedik. Ilyen majdnem teljesen elnyelő testnek tekinthető a bekormozott bolométerlemez, a melynek hőmérséklet-emelkedését mérjük. De mert lényegében a sugárzás nem egyéb, mint energia, azért a lemez hőmérsékletének emelkedése magában még nem alkalmas a sugárzás mérésére, hanem más mértékre kell átváltoztatni. Ilyen mérték a másodperc-gramm-kalória. Maga a gramm-kalória a hőmennyiség egysége; jelenti pedig azt a hőmennyiséget, a mely szükséges, hogy egy gramm vizet  $0^{\circ}$ -ról  $1^{\circ}$ -ra melegítsünk. Ahhoz, hogy energia-áramot fejezhessünk ki vele, szükséges, hogy bizonyos terület-egységet vegyünk alapul, a melyet az áram ér, s ez a terület-egység a négyszögcéntiméter; azonkívül a hatás tartamának megméréséhez időegység is kell, s ez a másodperc.

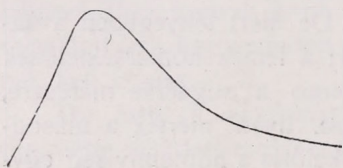
Ha tehát a bolométerrel mért energiamennyiséget másodperc-gramm-kalóriákban fejezzük ki, akkor ez azt mondja, hogy az egy másodperc alatt egy négyszögcéntiméterre eső sugárzás hány gramm nulla-fokú vizet emelne egy fokra.

Már említettük, hogy PLANCK-nak sikerült a KIRCHHOFF-féle függvényt pontos matematikai képletbe foglalni. Ez a képlet megadja az abszolút fekete test sugárzásenergiáját valamely sugárzó test tetszésszerű hőmérsékletére és hullámhosszúságára nézve.

Ebből a képletből, az ú. n. PLANCK-féle energiaegyenletből, néhány oly különös esetben érvényes törvényt lehet levezetni, melyek részben már előbb is ismeretesek voltak. Így pl. ha kicsiny egyenlő közökben, nullától kezdve egészen a végtelenig, a hullám-



hosszúság minden értékére kiszámítjuk a sugárzásenergiát és az így kapott eredményeket mind összeadjuk, akkor megkapjuk a fekete testből kiindulóösszsugárzást, tehát olyasmit, a mi közvetlenül mérhető anélkül, hogy a sugárzást előbb színekpre bontanók szét. Ez azösszsugárzás már csupán a hőmérséklettől függ. Az összefüggést STEFAN találta meg néhány évvel ezelőtts az ő nevééről STEFAN-féle törvénynek nevezték el. Ez a törvény így szól: Az abszolút fekete test sugárzása abszolút hőmérsékletének negyedik hatványával arányos. Legyen pl. valamely fekete test hőmérséklete 0 Celsius fok, vagyis 273 abszolút fok; ennek megfelel bizonyosösszsugárzás. Ha most e test hőmérséklete az előbbinek kétszeresére emelkedik, vagyis 546 abszolút fokra, akkorösszsugárzása 16-szor akkora lesz, mint az első esetben, mert kettőnek a negyedik hatványa  $= 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 16$ .



66. rajz.

A mikor tehát a hőmérséklet a kétszeresre emelkedik, akkor azösszsugárzás a 16-szoros értékre száll. Ha a hőmérséklet a tízszeres értékre, 2730 fokra emelkednék (ez a hőmérséklet még az elektromos ívlámpának hőmérséklete alatt van), akkor azösszsugárzás a kezdetben felvett értéknek 10,000-szeresét tenné ki, (mert 10-nek negyedik hatványa  $= 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 10,000$ ). Látjuk tehát, hogy mily óriási mértékben növekszik azösszsugárzás a hőmérséklet emelkedésével.

Ha a KIRCHHOFF-féle függvényt (PLANCK képlete alapján) egy adott hőmérséklet-értékre nézve felrajzoljuk, akkor a különböző hullámhosszúságoknak megfelelő intenzitások folytonos görbét szolgáltatnak, melynek alakja a 66. rajzban látható. Ez a görbe egy helyen legnagyobb értéket, maximumot mutat. Ha ezt a maximumot képlet alapján kiszámítjuk, akkor azt találjuk, hogy a legnagyobb (PLANCK-féle) sugárzás az abszolút hőmérséklet ötödik hatványával arányos, míg azösszsugárzás csak a negyedik hatvánnyal. Első példánkban a legnagyobb sugárzás ennél fogva a 32-szeresre emelkednék, a második példában pedig a 100,000-szeresre.

Ha különböző hőmérsékletekre számított több ilyen görbét rajzolunk fel (67. rajz), akkor azt látjuk, hogy ezek a görbék

hasonlítanak ugyan egymáshoz, de hogy a maximum annál jobban nyomul a rövid hullámok felé, mennél magasabb a hőmérséklet. A sugárzás-maximum hullámhosszúsága eszerint mindig kisebb lesz. Ez a kisebbedés nagyon egyszerű törvényt követ, az ú. n. eltolódás törvényét, mely így szól: A maximális sugárzásnak

megfelelő hullámhosszúság és a sugárzó test abszolút hőmérsékletének szorzata állandó.

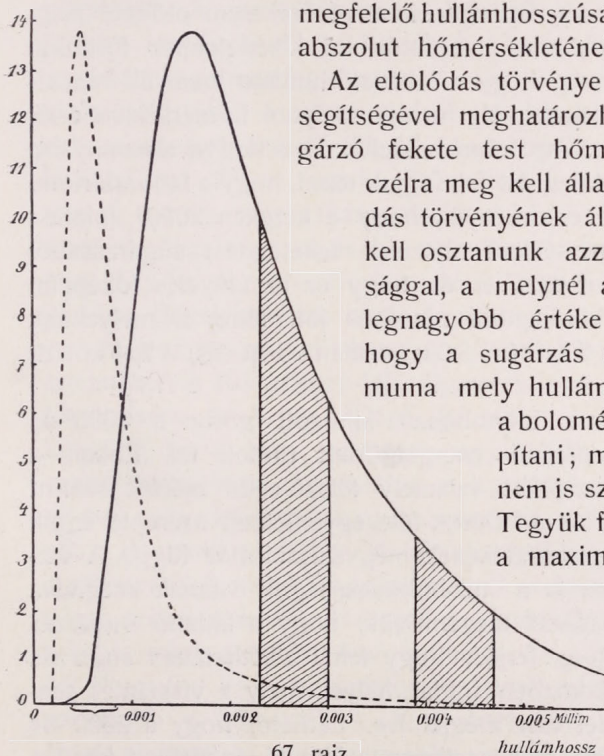
Az eltolódás törvénye azért fontos, mert segítségével meghatározhatjuk valamely sugárzó fekete test hőmérsékletét. Erre a célra meg kell állapítanunk az eltolódás törvényének állandóját és azt el kell osztanunk azzal a hullámhosszúsággal, a melynél a sugárzás-erősség legnagyobb értéke mutatkozik. Azt, hogy a sugárzás erősségének maximuma mely hullámhosszúságnál van,

a bolométerrel lehet megállapítani; magát az intenzitást nem is szükséges megmérni. Tegyük fel például, hogy ezt a maximumot a vörösön-

túli részben az  $1\mu$  hosszúságú hullámnál találtuk; az előbb említett állandó értéke 2940, ha ezt elosztjuk 1-gyel,

vagyis az erősségmaximumnak megfelelő hullámhosszúsággal, kapunk  $2940^0$ -ot s ez lenne a hőmérséklete a fekete test sugárzásának. Ha a maximumot a sárgában találtuk volna,  $0,700\mu$  hullámhosszúságnál, akkor a megfelelő hőmérséklet  $2940 : 0,7 = 4200^0$  lenne.

A KIRCHHOFF-féle függvény alkalmazására e könyv második részében majd ismét rá kell térnünk abban a fejezetben, a melyben a Nap hőmérsékletéről szólunk. Itt még egy képzelt példával akarunk e függvény jelentőségére rámutatni.





Tegyük fel, hogy a következő feladatot kellene megoldani: Mekkora veszteséget szenved a napsugárzás a Föld légkörében jelenlevő széndioxid fényelnyelése következtében? Minthogy még a legmagasabb hegyeken is igen tetemes mennyiségű széndioxid van jelen a felsőbb levegőrétegekben, azért a feladat, egyéb nehézségeket nem tekintve, a napsugárzás mérésével nem oldható meg. Kénytelenek vagyunk tehát laboratóriumi kísérletekhez fordulni. Itt meg az a nehézség, hogy a laboratóriumban nem áll rendelkezésünkre a sugárzásnak oly forrása, melynek hőmérséklete csak meg is közelítené a Nap hőmérsékletét. Ennélfogva alacsonyabb hőfokra vagyunk utalva. Itt fel fogjuk tenni, hogy a laboratóriumi kísérletek azt adták eredményül, hogy a kereken  $2000^{\circ}$  (platina olvadáspontja) hőmérsékletű abszolút fekete test sugárzásából a széndioxid  $25\%$ -ot nyel el és hogy ez az elnyelés főképpen a színeknek két vörösentúli részében jön létre, a melyeknek hullámhosszúságai  $2.3\mu$  és  $3.0\mu$ , azután  $3.9\mu$  és  $4.7\mu$  között fekszenek.

A 67. rajzban a folytonosan kihúzott görbe a  $2000^{\circ}$ -os hőmérsékletnek megfelelő energiagörbét tünteti fel. Ebben a görbében a magasságokat valamely tetszőleges mérték szerint rajzoltuk. (Ez a mérték a PLANCK-féle egyenletben szereplő egyik állandó mennyiség számértékének megválasztásától függ.) A vízszintes tengely mentén a hullámhosszúságok vannak megadva  $0\mu$ -tól  $5\mu$ -ig. Tájékozásul megemlítjük, hogy a látható sugárzás területe  $0.4\mu$ -tól  $0.8\mu$ -ig terjed, hogy tehát a láthatatlan sugárzás csak abban a rövid közben foglal helyet, mely a vízszintes tengely alatt — jellel van megjelölve. Látható, hogy a  $2000^{\circ}$ -os sugárzás legnagyobb része teljesen a látható színekén kívül a vörösentúli részben fekszik. A sugárzás maximuma  $1.6\mu$ -nál van. A sűrűn vonalozott sávok a széndioxid elnyelésterületeit mutatják. Könnyen belátható, hogy ha a görbe a sugárzásenergia menetét tünteti fel, akkor a görbétől és a vízszintes tengelytől befogott terület a sugárzás összértékét ábrázolja. Ebből az összértékből le kell vonni a két vonalozott sávot, melyek az elnyelés értékét adják. De ezek a sávok az összterületnek csak negyedrészt teszik; ebből merítettük azt az adatunkat, hogy  $2000^{\circ}$ -os sugárzásforrásnál a széndioxid okozta elnyelés  $25\%$ -ra becsülhető.

A pontozott görbe a  $6000^{\circ}$ -kal (a Nap hőmérséklete) arányos energiagörbe. Ez a görbe itt erősen kicsinyített mértékben van megrajzolva; csúcsa ugyanis a  $2000^{\circ}$ -os görbénél használt mérték szerint 50 méternyi magasságban kerülne a vízszintes tengelytől, mert ez a maximális magasság a hőmérséklet ötödik hatványával növekszik. A maximum most  $0.5\mu$ -nál mutatkozik és a görbe hirtelen emelkedése következtében a vörösöntúli részben fekvő sugárzások aránylag gyöngék. A vonalas sávoktól elfoglalt területek most ismét a széndioxid okozta elnyelést ábrázolják. De itt ebben az esetben területük az összterülethez viszonyítva sokkal kisebb, csak  $4\%$ -ot tesz ki. Ezzel pedig megoldottuk azt a feladatot, a mely még néhány évvel ezelőtt hozzáférhetetlennek látszott. A Nap sugárzásánál a széndioxid okozta elnyelés  $4\%$ -ot tesz ki, s ez oly laboratóriumi kísérletekből következik, a melyek  $25\%$ -os elnyelést adtak eredményül.

Még egyszer kell hangsúlyoznunk, hogy a meghatározás értelmében a KIRCHHOFF-féle függvény csak abszolút fekete test sugárzására érvényes. Előző példánk eredményei csak akkor helyesek, ha a Nap sugárzása ugyanolyan volna, mint az abszolút fekete testé. Egyébiránt a legtöbb szilárd test sugárzásgörbéi nagy hasonlatosságot mutatnak a KIRCHHOFF-féle függvényt ábrázoló görbéhez. A különbséget főleg az idézi elő, hogy a kibocsátóképesség maga is változik a hőmérséklettel. A közönséges testek számára ezért a sugárzásfüggvény sokkal bonyolultabb, mint a fekete test számára. De úgy látszik, mintha a két függvény közti hasonlatosság annál nagyobb lenne, mennél magasabb a hőmérséklet. A gyakorlatban eddig rendesen úgy jártak el, hogy az energiaegyenlet alakját mindenféle testnél megtartották, csak az abban előforduló egyik állandó mennyiségnek adtak olyan értéket, a mely által azután az egyenlet a megfigyeléseket a legjobban ábrázolja. Az ismertebb fémek közül talán a tiszta platina a legerősebben eltérő sugárzású; ennél a fémnél például az eltolódástörvény állandóját  $2940$ -ról  $2630$ -ra kell változtatni.

Már a 143. lapon említettük, hogy éppen úgy, mint a hanghullámoknál, a fényhullámoknál is keletkezhetnek egyidejűleg nagyobb, vagy kisebb rezgésszámú rezgések. Gázok színképében ennek következtében a vonalak kiszélesednek, a helyett, hogy



csak egyes határozott rezgések (vonalak) támadnának. Azt, hogy ez a tűnemény a KIRCHHOFF-féle törvény folyománya, ZÖLLNER bizonyította be.

Képzeljünk el valamely vékony, világító gázréteget, adott elnyelő- és kibocsátóképességgel. A KIRCHHOFF-féle törvény szerint e kibocsátóképességnek viszonya az elnyelőképességhez állandó és egyenlő az abszolút fekete test kibocsátóképességével. Képzeljük, hogy az említett gázréteg mögött másik, tökéletesen ugyanolyan gázréteg foglal helyet, mely szintén világít. E gázréteg fényének azonban keresztül kell hatolnia az első gázrétegen, a melyben a fénye részben elnyelődik, még pedig a KIRCHHOFF-féle törvény alapján könnyen kiszámítható mértékben. Kifelé, az első rétegen át tehát valamivel kevesebb fény jut. A harmadik gázréteg fénye először a második rétegen hatol keresztül, a hol fényéből veszít, azután átmegy az első rétegen, a hol ismét elnyeletést szenved, melynek mértéke szintén könnyen kiszámítható. Így akárhány ilyen egymás mögött elterülő gázrétegből kikerülő fény mennyisége kiszámítható s az egész vastag réteg összfényét megkapjuk, ha az egyes rétegeket összeadjuk. Ez a számítás természetesen minden egynemű, határozott hullámhosszúságú fényre érvényes. A számítás valamely határozott hullámhosszúságra nézve megadja a vastag réteg kibocsátóképességét, ha ismerjük a vékony réteg elnyelőképességét, a vékony rétegek számát és az abszolút fekete test kibocsátóképességét ugyanerre a hullámhosszúságra vonatkozólag. Ha ezt a számítást két szomszédos hullámhosszúságra nézve elvégezzük, abban az esetben, ha a gázréteg igen vastag és így az egyes vékony rétegek száma igen nagyra vehető, akkor azt fogjuk találni, hogy: »mennél vastagabb valamely világító gázréteg, annál inkább közeledik két szomszédos színekprész fényességének egymáshoz való viszonya az izzó fekete test megfelelő színekprésze fényességének viszonyához«.

De a tapasztalás azt mutatja, hogy a fekete test folytonos színeképében két szomszédos színekprész fényessége között a különbség csak alig, vagy egyáltalán nem vehető észre. Ha tehát vékony réteg esetében két szomszédos hullámhosszúságnak megfelelő vonalnál a fényességbeli különbség igen erős volt, akkor ez a különbség abban a mértékben fogy, vagyis a

sötét környezet mindinkább fényesebbé válik, a mint a világító gázréteg vastagsága növekszik. De mennél fényesebbé lesz valamely fényes vonal környezete, annál inkább kiszélesedik ez a vonal és egyszersmind elmosódottabbá válik, mert a fényességbeli különbség az eredeti fényes vonaltól való távolsággal együtt nő.

Mennél nagyobb a hőmérséklet, annál nagyobb általában az elnyelőképesség is, mert hiszen a kibocsátóképesség is növekszik a hőmérséklettel és a kettőnek egymáshoz való viszonya a KIRCHHOFF-féle törvény szerint állandó. Ebből az következik, hogy növekvő rétegvastagságnál a vonalak annál gyorsabban szélesednek ki, mennél melegebb a szóbanforgó gáz. Bizonyos állandó rétegvastagságnál tehát maga a hőmérsékletemelkedés is vonal-szélesedést fog előidézni. Ennek a körülménynek azután az a folyománya, hogy az égitestek színképeiben sokszor észlelt vonalkiszélesedésekből nem lehet az égitestek állapotára *egyértelmű* következtetéseket vonni. Mert ha például valamely állócsillag színképében erősen kiszélesedett vonalakat látunk, akkor ebből az következik, hogy ezen égitest légkörében a vonalakat előidéző gáz vagy nagyon vastag rétegben van jelen, vagy hogy a hőmérséklete nagyon magas, vagy hogy mind a két körülmény egyszerre működik közre.

Csak úgy sikerül némely esetben e három lehetőség között döntenünk, ha más, többnyire igen bonyolult megfontolásokat hívunk segítségül.

Sőt közelebbről tekintve a dolgot, az említett bizonytalanság még valamivel növekszik. Valamely gázban az elnyelés vagy kibocsátás erőssége első közelítésben azoknak a molekuláknak a számától függ, a melyekkel a fénysugár a gázon való áthatolása közben találkozik. Ha tehát a gázban a nyomást növeljük, a miáltal az eredeti rétegbe nagyobb mennyiségű gázt sajtolunk, akkor ennek ugyanazt a hatást kell előidéznie, mintha a gázréteg vastagságát növelnők. Ezért azután a spektroszkóp nem képes különválasztani a gáz térfogatát és nyomását.

Mennél vastagabb a gázréteg, vagy mennél nagyobb a nyomás vagy a hőmérséklet, annál csekélyebbé válik az ellentét a két színképrésznek még tetemesebb távolságánál is, annál inkább kiszélesednek a gáz vonalai, úgy, hogy végül egybe is folyhat-



nak és folytonos színeképet adnak. Végtelen nagy vastagságnál a kisugárzások vagy kibocsátások viszonya egymástól bármilyen messze fekvő hullámhosszúságokra nézve ugyanolyan, mint az abszolút fekete testnél.

Ez a körülmény más módszert szolgáltat az abszolút fekete test előállítására, legalább is bizonyos közelítéssel, mert hiszen végtelen vastag gázrétegek nem állanak rendelkezésünkre. A gyakorlatban erre a célra természetesen olyan gázokat fogunk választani, a melyeknek elnyelési együtthatója lehetőleg nagy és a melyeknél a vonalak kiszélesedése könnyen megy végbe. Úgy látszik, hogy pl. a hidrogén ilyen gáz. De sokkal fontosabb, hogy a fentebb említett tétel oly világító lángokra is érvényes, a melyeknél a kisugárzás a lángban lebegő izzó szénrészecskéktől ered. Egy méter vastag láng már elegendő a fekete test sugárzásától gyakorlatilag már alig különböző sugárzás létesítésére.

*A Doppler-Fizeau-féle elv.* DOPPLER osztrák fizikus 1843-ban értekezést tett közzé a kettős csillagok színes fényéről, a melyben azt igyekezett bebizonyítani, hogy a kettőscsillagok gyakran igen szembetűnő színességének okát ezen égitestek mozgásában kell keresnünk, mert az eredetileg fehér színnek a vörösbe kell átmennie, ha a mozgás iránya tőlünk távolodik, ellenben a kékbe kell átcsapnia, ha felénk irányul.

Ha vonatban ülve pályaudvaron robogunk keresztül éppen a mikor a telegráf csengettyűje szól, akkor azt vesszük észre, hogy az átutazás pillanatában a csengettyűk hangja fülbántó módon hirtelenül alábbszáll. Ugyanezt tapasztalhatjuk akkor is, ha a vasutvonal mentén állunk és lokomotív sípolva száguld el mellettünk; itt is észrevehetően alább száll a hang, a mint a gép elrobog előttünk. Sőt gyorsabban rohanó kerékpár csengettyűjénél is jól észrevehető a csengettyű hangjának mélyebbé válása. Nem nehéz ennek a jelenségnek a magyarázata.

Képzeljük, hogy mi valamely hangforrástól 300 méternyire vagyunk, s hogy e hangforrás másodpercenként pontosan 400 rezgést végez. A hangnak pontosan egy másodpercre van szükség, hogy az említett utat megtegye. Ha most tetemes sebességgel, pl. másodpercenkénti 30 méterrel (a gyorsvonat sebessége) a hangforrás felé közeledünk, akkor az érkező hanghul-

lámoknak elébe megyünk. Ezek a hanghullámok tehát hozzánk képest gyorsabb mozgásban vannak, mint a nyugvó testekhez viszonyítva, még pedig a mi példánkban az eredeti sebességnek  $\frac{1}{10}$ -ed részével. E mozgás közben tehát  $\frac{1}{10}$ -del több rezgés üti meg fülünket, mint a nyugalmi helyzetben, azaz másodpercenként nem 400, hanem 440, és ebben az arányban emelkedett természetesen a hang magassága is. Ha a hangforrástól ugyanazzal a sebességgel távolodtunk volna, akkor a rezgések száma  $\frac{1}{10}$ -del apadt volna és már csak 360-at tenne ki, ezzel karöltve alábbszállt volna a hang is.

Hasonló folyamat megy végbe akkor is, ha a hangforrás van mozgásban és mi maradunk nyugalomban, a mint erről egyszerű meggondolás meggyőzhet bennünket. A hangmagasság általában emelkedni fog, ha a megfigyelő és a hangforrás közti távolság kisebbedik, ellenben alábbszáll a hangmagasság, ha ez a távolság növekszik. A hangmagasság változásának nagysága a mozgásebesség és hangsebesség közti viszonytól függ.

Annak megállapítása céljából, hogy ez a törvény számszerűen is egyezik-e a valósággal, különféle kísérleteket végeztek. Így például közeledő és távolodó lokomotív s hangját muzsikussal figyeltették hegedűn s azt találták, hogy a beállott hangváltozás valóban megegyezett a lokomotív- és hangsebesség viszonyával. Fogaskerekekből is állítottak elő két egyenlő hangforrást, a melyek a megfigyelőhöz közeledtek vagy tőle távolodtak és a melyeknek sebességét pontosan meg lehetett mérni. Ezekben és hasonló esetekben beigazolódott fenti számításunk helyessége, mely a hangforrás vagy a megfigyelő mozgásából a hangmagasság változására következtet.

Alkalmazzuk ezeket a meggondolásokat a fényhullámokra, a mint azt DOPPLER maga is tette. Ha egyszínű fényforrás, mely csupán egyféle határozott hosszúságú hullámokat bocsát ki, tőlünk bizonyos sebességgel távolodik, akkor a megfigyelőhöz egy másodperc alatt érkező hullámok száma csökken és a sugárzás színe inkább a vörös felé közeledik. A szín változása annál erősebb, mennél gyorsabban távolodik a fényforrás. Ha azonban a fényforrás közeledik a megfigyelő felé, akkor ellenkezőleg több hullám éri a megfigyelőt, minek következtében a szín mindinkább az ibolyába megy



át. Ugyanez történik akkor is, ha a fényforrás marad nyugalomban és a megfigyelő van mozgásban.

Lényegesen különböző azonban a folyamat akkor, ha a fényforrás mindenféle színű sugarakból álló fehér fényt lövel ki magából. Ha már most ebben az esetben a fényforrás pl. közeledik, akkor mindenegybes sugárnem külön-külön megváltozik, úgy hogy az ibolya felé megy át; de ha a fényt spektroszkóppal egyes sugaraira bontjuk, akkor a színek látszatra semmit sem változott, mert a vörös, mely a narancsszínbe ment át, a vörösöntúli sugarakból egészítődik ki, a fölös ibolyaszín pedig a színek láthatatlan ibolyántúli részébe megy át. A rendes színekben előforduló egészen csekély intenzitásbeli különbségeket nem tekintve, tehát a színekben látszólag nem történt semmiféle, mérhető változás s épp oly kevésbé változott a fényforrás színe. DOPPLER eredetileg azt hitte, hogy a hozzánk közeledő vagy tőlünk távolodó csillagok színének kell megváltoznia. Láttuk, hogy ez a következtetés nem helyes, nem tekintve azt, hogy óriási sebességekkel kellene az égitesteknek a térben rohanniok, hogy még egyszínű fény esetében is észrevehető színváltozás jöjjön létre, a mint erről azonnal meg fogunk győződni. FIZEAU francia fizikust illeti az érdem, hogy DOPPLER elvét a tudomány, különösen pedig a színekélemzés számára használhatóvá tette. Ő mutatott rá először arra, hogy ennek az elvnek értelmében valamely színeképvonal egyébként állandó hullámhosszának meg kell változnia, a mivel spektroszkópbeli eltérítés jár együtt, úgy, hogy a folytonos színeképvonal változatlanul megmarad ugyan, de a fényes vagy sötét színeképvonalak eltolódást szenvednek.

Ezek szerint a DOPPLER-FIZEAU-féle elvet ilyenformán lehet kimondanunk: »Ha valamely fényforrás (pl. csillag) és a megfigyelő közelednek egymáshoz, akkor az összes színeképvonalak az ibolya felé tolódnak el; ha a fényforrás és a megfigyelő távolodnak egymástól, akkor az eltolódás a vörös felé történik.« Mennél nagyobb az a sebesség, a mellyel a távolságváltozás végbemegy, annál erősebb a színeképvonalak létrejövő vonaleltolódás.

A megmért eltolódásból nagyon egyszerűen kiszámítható a viszonylagos közeledés vagy távolodás sebessége. Tegyük fel például, hogy az  $F$  vonalnál, melynek hullámhossza  $\lambda_{4860}$ , megmértük az eltolódást és azt ugyanazokban az egységekben (tíz-

milliomodrész milliméter) 1'0-nek találtuk. A távolságváltozásnak sebessége (kilométerekben másodpercenként), mely ezzel az eltolódással együtt jár, annyi mint  $\frac{300\,000 \times 1'0}{4860}$ , ha a fény terjedése sebességét 300 000 km.-nyinek vesszük másodpercenként. Ebben a példában ez a sebesség 62 km lenne másodpercenként. Láthatjuk ebből, hogy milyen szerfölött kicsinyek a bekövetkező eltolódások még oly sebességek mellett is, melyek a mi fogalmaink szerint óriásiak. A fölött 1 tízmilliomod mm-nyi eltolódás a két nátriumvonal egymástól való távolságának csak mintegy hatodrésszel egyenlő.

A mi a színekpvonalak eltolódásának megfigyelését illeti, az eljárás rendesen az, hogy a csillag színekpével egyidőben valamely olyan anyag színekpét állítjuk elő, mely anyag a csillagban is jelen van. Ezt alkalmas fényforrás közbeiktatása segítségével érhetjük el. Legjobban használhatjuk erre a célra a vasat, mert ennek vonalai rendkívül számosak és mert igen sok csillag színekpében fordulnak elő. A hidrogénvonalak is jól használhatók, mert igen ritka kivétellel majdnem valamennyi égitest színekpében megvannak. A már említett mérő módszerek valamelyikével azután megmérjük a távolságot a földi anyag és az égitest színekpének két vonala között.

Bár nagyon sokan fáradoztak, még máig sem sikerült a DOPPLER-féle elvről minden ellenvetéstől mentes matematikai elméletet felállítani. Még nem sikerült számításba venni azt a hatást, melyet a rezgések forrásának mozgása a rezgő közegben magára a forrásra gyakorol és azért a matematikai levezetéseket mindig oly formulákra kell alapítani, a melyek nagyon tetszetősek ugyan, de azért mégis mindig csak föltevések maradnak. Ellenben az égitestek színekpeiben észlelhető vonaleltolódások mérései alapján a kísérleti bizonyítékok az utóbbi évek folyamán akkora terjedelmet öltöttek és oly biztonságra tettek szert, hogy a DOPPLER-féle elvnek a világtérben előforduló sebességekre való alkalmazhatósága iránt nem lehet kétség. Ily kísérleti bizonyítékokat könnyen adhatunk, ha a DOPPLER-féle elv alapján olyan sebességeket mérünk, a melyeket más úton is meghatározhatunk, a milyenek például a Nap tengelykörüli forgása vagy pedig a Föld keringése a Nap körül. Bővebben erről könyvünk második részében fogunk szólni.



### Egyéb elméletek.

*Törvényszerűségek a színeképvonalak eloszlásában.* Említettük, hogy a gázok csak egészen határozott hullámhosszúságú sugárakat bocsátanak ki és így vonalas színeképet adnak. Ebből a körülményből azt következtethetjük, hogy ebben a tekintetben bizonyos törvényszerűségeknek kell lenniök, hogy kell valami összefüggésnek lenni a vonalak hullámhossza s egyéb chemiai vagy fizikai tulajdonságok között. Minthogy valamely gázban csak olyan rezgések jelenhetnek meg, melyek a színeképvonalak hullámhosszainak megfelelnek, azért közelfekvő gondolat ezeknek összefüggését az elemek atómsúlyával vagy a MENDELEJEFF-féle sorozatban való helyükkel keresni. Nyilvánvaló, hogy ily összefüggés felderítéséből a különféle elemek szerkezetére vonatkozólag a legbecsesebb következtetésekre számíthatunk; de az ebben az irányban folytatott sok kísérletezés ellenére eddig csak kevés biztos eredményhez sikerült jutni. Ellenben sikerült több elem néhány vonalának eloszlásában bizonyos törvényszerűségeket fölismerni, melyeknek fizikai magyarázata eddig még hiányzik.

Az elemek színeképeinek szemlélésénél első tekintetre kevés olyant találunk, a mi valami törvényszerűségekre emlékeztetne. Rendesen úgy tűnik föl, mintha a vonalak, az erősek éppen úgy, mint a gyöngék, egészen találmásra lennének elosztva; csak az tűnik föl, hogy a színekép kék és ibolyaszínű részében a vonalak száma többnyire sokkal nagyobb, mint a vörös és sárga részben. A Nap vonalas színeképe a legkülönbélebb elemek színeképeinek keveréke és éppen itt különösen feltűnő a vonalak sűrűségének növekedése az ibolya felé.

Pontosabb vizsgálatnál azonban mégis szembeötlenek bizonyos törvényszerűségek. Így például a hidrogén vonalai a vöröstől kezdődőleg az ibolya felé szabályosan mindig rövidebb közökben következnek egymásra s végül az ibolyántúli részben egészen sűrűn egymás mellé sorakozva hirtelen megszűnnek. Némely elemeknél feltűnő kettős vagy hármas vonalcsoportok jelennek meg, melyek a színekép minden részében állandóan újból visszatérnek. Különösen feltűnők bizonyos chemiai vegyületeknél, pl. a szénhidrogéneknek megjelenő szalagcsoportok. De elemeknél is, mint pl.

az oxigénnél, szalagok láthatók, a melyekben a vonalelosztódás kétségkívül valami törvényszerűséget mutat.

BALMER már 1885-ben talált a hidrogénvonalak sorozatára érvényes, rendkívül egyszerű matematikai képletet.\*) A hidrogénvonalaknak ezen képlet segítségével kiszámított és a valóságban megmért értéke között a megegyezés oly tökéletes, a minő a mérés pontossága mellett egyáltalán várható. A következő táblázat egymás mellett közli a megmért és a kiszámított hullámhosszakat.  $n$  jelenti a hidrogénvonal sorszámát a BALMER-féle sorozatban. Az utolsó megmért vonal a  $\lambda$  3661; a BALMER-féle sorozatban ennek az  $n = 31$  vonal felel meg szintén  $\lambda$  3661 hullámhosszával. Elméletileg a sorozatnak végtelen sok vonala lehet; s ezek utolsója a BALMER-féle sorozatban a  $\lambda$  3647.

Vonal	Mérés	Számítás	$n$
H $\alpha$	6565·0	6565·0	3
$\beta$	4862·9	4862·9	4
$\gamma$	4342·0	4341·9	5
$\delta$	4103·1	4103·1	6
$\varepsilon$	3971·4	3971·4	7
$\zeta$	3890·3	3890·3	8
$\eta$	3836·8	3836·7	9
$\theta$	3799·2	3799·2	10
$\iota$	3771·9	3771·9	11
$\kappa$	3751·3	3751·4	12
$\lambda$	3735·3	3735·6	13
$\mu$	3722·8	3723·2	14
$\nu$	3712·9	3713·2	15

Az eddig ismeretes elemek között a hidrogént tekintik a leg-egyszerűbbnek, mert atómsúlya a legkisebb. Ezért nem lehetett várni azt, hogy más elemek vonalainál is éppen ily egyszerűek lesznek az összefüggések; ily egyszerű összefüggések valóban

\*) L. a Függelék.



nincsenek is. RUNGE, KAYSER és RYDBERG fizikusoknak azonban sikerült más elemeknél is a BALMER-éhez hasonló, csak hogy tetelesen bonyolultabb összefüggéseket felfedezni, a melyek mind azonos alakúak. Általában azonban valamely anyagnak nem valamennyi vonala engedelmeskedik ennek a törvénynek.

Miként a BALMER-féle képletben, úgy itt is, a törvényszerűség eleget tesz annak a föltételnek, hogy a vonalak az ibolya felé mindig összébb szorulnak.\*) Valamely elem vonalai közül azokat, a melyek a képletadta értékekkel megegyeznek, egy sorozatba tartozóknak tekintjük. Számos elemnél az ismert vonalak nagyobb része nem rendezhető ilyen sorozatba. Úgy látszik, hogy egyébként rokon elemeknél annál több vonalat lehet sorozatba foglalni, mennél alacsonyabb az elem olvadáspontja. Így pl. a lítiumnál, melynek olvadáspontja  $180^{\circ}$ , valamennyi vonal ilyen sorozatokba tartozik, a  $850^{\circ}$ -nál olvadó baryumnál ellenben egyetlen vonal sem.

Hasonló képletet derített ki RYDBERG is.\*\*\*) Mind a két formula meglehetősen egyformán jól adja meg a vonalak megfigyelt hullámhosszait, csak nagyobb hullámhosszaknál úgy látszik, mintha a RYDBERG-féle kifejezés kevésbé lenne alkalmas. A következőkben a KAYSER-RUNGE-féle formulát fogjuk használni. Megjegyzendő, hogy mind a két formulának csupán alaki, interpolatorikus jellege van, de nem fizikai értelme; ezt az utóbbit még nem ismerjük. Talán nem esnek nagyon messze a valódi alaktól, a mint azt az egyszerűbb BALMER-féle formulával való összefüggésük is mutatja, mely utóbbi képlet a legegyszerűbb atómszerkezet esetében úgy látszik szigorúan érvényes.

Különbséget szokás tenni fősorozat és két, vagy több melléksorozat között, melyeknek vonalai bizonyos tulajdonságokban különböznek egymástól. A fősorozat vonalai mind élesek és könnyen jelentkeznek megfordítottan, azaz ha az illető elemet az elektromos ív hőjében elpárologtatjuk, akkor az ív külső hidegebb részeiben könnyen következik be elnyelés és a fényes emisszió-vonal közepén sötét vonal tűnik fel. Az első melléksorozat vonalai erősek és elmosódottak, de szintén könnyen megfordíthatók. A második melléksorozat vonalai gyengék, vagy

\*), \*\*) L. a függelék.

erősek, egyoldalúan elmosódottak és sohasem jelennek meg megfordítottan. Számos elemnél a fősorozat és némelykor a melléksorozatok is szűk vonalpárokból állanak. Mennél nagyobb valamely elem atómsúlya, annál inkább esik a sorozatok kezdő-pontja az ibolya felé. Lehetséges tehát, hogy magas atómsúlyú elemeknél, minő pl. a baryum, csak látszólagosan hiányzanak a sorozatok, mert talán annyira a színkép ibolyántúli részébe esnek, hogy eddig nem voltak láthatók.

A következő fejezetben többször fogunk visszatérni a sorozatképződésre.

*A Zeemann-féle jelenség.* ZEEMANN holland fizikus megfigyelte, hogy a BUNSEN-láng segítségével előállított nátriumvonalak bizonyos szélesedést mutatnak, mihelyt a BUNSEN-lángot erős mágneses mező hatásának tesszük ki. A kísérleteknek különös elrendezésével sikerült kimutatni azt, hogy ez a szélesedés nem függ össze a mágneses mező okozta esetleges nyomás-, vagy hőfok-emelkedéssel, hanem hogy itt a mágneses erőknek a fényrezgésekre történő közvetetlen hatásával van dolgunk. ZEEMANN e hatás magyarázatát a LORENTZ-féle fényelméletben találja, mely a MAXWELL-féle elektromágneses elméletnek továbbfejlesztése. A rezgéselmélettel ellentétben ez az elmélet fölteszi, hogy minden testben az atomokkal kapcsolatban kicsiny, elektromos töltésű, határozott tömegű részecskék, ionok, vannak jelen és hogy az összes elektromos jelenségek ezeknek az ionoknak csoportosulásától és mozgásától függnék és hogy a fényrezgések nem egyebek, mint ezen ionok rezgése. E szerint az ionok elektromos töltése, csoportosulása és mozgása teljesen meghatározza az éter állapotát. Ha ezek az ionok mágneses térben mozognak, akkor a mágneses erők mechanikailag hatnak rájuk és oly módon változtatják meg a rezgésidőt, hogy a keletkező színképvonalak szélei körösen sarkítottak (V. ö. 36. lap).

Ezeknek a föltevéseknek matematikai tárgyalása arra az eredményre vezet, hogy az elegendő vékonyságú színképvonalaknak nagyon erős mágneses erők hatására nemcsak ki kell szélesedniök, hanem több vonalra, összetevőre kell szétbomlaniok. Ha a fény a mágneses erővonalak irányában sugárzik ki, akkor a színképvonal két vonalra bomlik, a melyek közül az egyik bal-, a másik jobb oldalú körös sarkítást fog mutatni. De ha a fény a



mágneses erővonalra merőlegesen sugárzik, akkor a színeképvonal három összetevőre oszlik széjjel, a melyek közül a középső nincsen sarkítva, míg a két külső összetevő egyenesben sarkított fényt szolgáltat, melynél a sarkítás síkjai egymásra merőlegesek. (Mágneses erővonalakon oly görbéket értünk, melyek mindenütt a mágneses erő irányában fekszenek; úgy lehet őket könnyen szemléltetni, ha vasreszeléket hintünk papirosra, mely alá mágneset tartunk.)

Míg ZEEMANN az ő aránylag szerény segédeszközeivel azt találta, hogy a megfigyelés az előbbi elméleti következtetéseket teljes mértékben igazolja, addig CORNU francia fizikus tökéletesebb megfigyelési módszerekkel a ZEEMANN-féle észleléseket megerősítette ugyan, de egyszersmind eltérést is tapasztalt. T. i. az erővonalakra merőlegesen eső fénynél, a mágneses tér hatása alatt a színeképvonal nem három, hanem négy összetevőre bomlik, az eredeti vonal közepéhez szimetriásan. A két külső összetevő az erővonalakhoz képest párhuzamosan van sarkítva, a két belső pedig azokra merőlegesen.

CORNU azt tartja, hogy a ZEEMANN-féle jelenség magyarázatára egyáltalán nem szükséges a LORENTZ-féle elmélet, hanem oly magyarázatot ad, — igaz, hogy matematikai igazolás nélkül — mely kizárólag a már ismeretes sarkítási törvényekre támaszkodik:

1. A közönséges fénysugár két egyenlő erősségű, de egymásra merőlegesen sarkított sugár összetétele.
2. Síkban sarkított sugár két egyenlő erősségű, de ellentett irányban körösen sarkított sugár összetétele.

Hozzáteszi még a következő meghatározást:

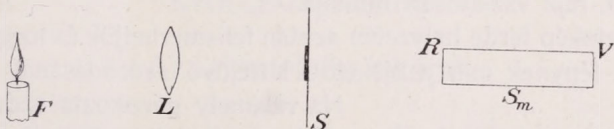
3. A mágneses erővonal oly szolenoid tengelyének felel meg, melynek déli sarka az áramiránytól balra esik.

CORNU fölteszi, hogy a mágneses mező hatása a fénysugárzásra abban nyilvánul, hogy szétbontja az oly egyenes vonalú rezgésösszetevőket, melyek képesek hullámokban tovaterjedni, még pedig oly hullámokban, melyek a szolenoid áramirányával párhuzamosan körösen vannak sarkítva. A szolenoid áramirányába eső rezgések gyorsítatnak, az ellenkező irányúak pedig lassítást szenvednek. Abból a célból, hogy ezt a magyarázatot a négy

összetevőre való hasadásánál alkalmazhassuk, föl kell tennünk azt, hogy az erővonalak irányával párhuzamos összetevő is megkétszereződik és hogy egyidejűleg a két rész rezgésideje meglassul, illetve gyorsul.

A Zeemann-féle jelenség azt mutatja, hogy mágneses erők hatása alatt a színeképvonalak széthasadása következhetik be, melynek nagysága a mágneses erők nagyságától függ. ZEEMANN felfedezése nemcsak a fény és elektromosság összefüggését kutató vizsgálatokra nézve nagyfontosságú, hanem jelentős az asztrofizikában is, a melyben szintén már sikerült alkalmazni, a mint azt később látni fogjuk.

*A rendellenes színszóródás.* A gázok színszóróképesége általában nagyon csekély, a mi természetes is, ha meggondoljuk, hogy sűrűségük mily csekély egyéb szórásra képes anyagokhoz,



68. rajz.

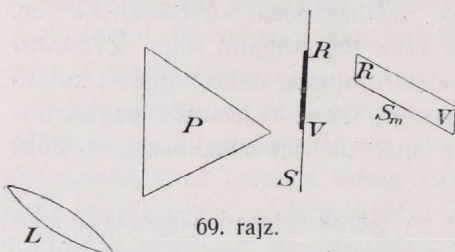
pl. az üveghez képest. Némely gázoknál azonban az üveggel ellentétben, teljesen rendellenes szóróképeség mutatkozik. Ez a szóróképeség a hullámhosszak legnagyobb részére nézve elenyészően csekély, de igen magasra szökken a színeképvonalak közelében, tehát ott, hol az elnyelőképeség hirtelen erősebbé válik; a nátriumnál meglepően magas értéket ér el. Abból a célból, hogy megértsük azt a kísérletelrendezést, a melynek segítségével a rendellenes színszóródást kimutathatjuk és megmérhetjük, előbb a következőket kell előrebocsátanunk.

Kicsiny világítófelületet, pl. lángot, lencse segítségével spektroszkóp részére vetítünk. Világos, hogy a keletkező színekép magassága pontosan megfelel a rés megvilágított részének, tehát a a vetített lángkép hosszának. (A vázlatos 68. rajzban  $F$  a láng,  $L$  a lencse,  $S$  a rés, a melyen vastagabb vonal mutatja a vetített kép hosszát,  $S_m$  a színekép.)

Ha most a rés előtt prizrát helyezünk el, még pedig úgy,



hogy tengelye a résre — és ennél fogva a spektroszkóp-prizma tengelyére is — merőlegesen álljon, akkor teljesen különböző jelenség észlelhető. A közbetolt prizma a lángtól érkező sugarakat már a spektroszkóp előtt szétbontja, még pedig a réssel párhuzamosan, úgy hogy pl. legfelül a láng vörös képe helyezkedik

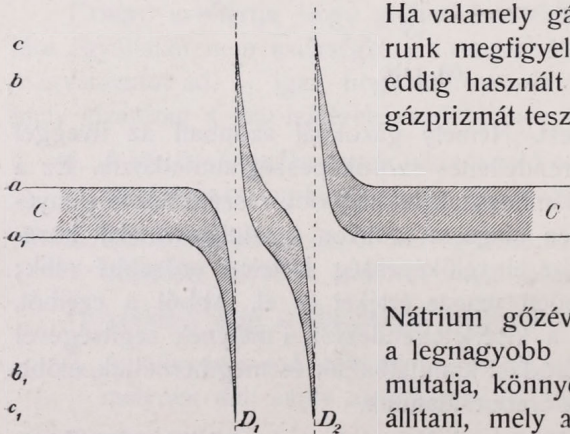


69. rajz.

el, legalul az ibolyaszínű s közben a többi lángképek a színek színeinek folyamatosan egymásutánjában. A rés felső részétől származik tehát a színeknek megfelelően széles vörös része, az alsótól pedig a megfelelő

ibolyaszínű színekprész. Következésképpen az egyes színekprések nem vízszintes, hanem ferde sávban helyezkednek el, a hogyan azt a 69. rajz vázlatosan mutatja.

A színek ferde helyzetén azután felismerhetjük és meg is mérhetjük a fénynek már a rés előtt létrejövő szóródásának hatását. Ha valamely gáz okozta szórást akarunk megfigyelni, akkor a rés előtt eddig használt üvegprizma helyébe gázprizmát teszünk. De a csak némi-



70. rajz.

képpen is pontos gázprizmák előállítására rendkívül nagy technikai nehézségekkel jár.

Nátrium gőzével, mely egyébiránt a legnagyobb rendellenes szórást mutatja, könnyen lehet prizmat előállítani, mely azonban folyton változtatja alakját. Nem kell egyebet tennünk, mint kis darabka nátriumot

kanálkán elégetni. Ekkor kúp alakú láng keletkezik, melynek csúcsa fölfelé mutat és ez a láng a rés elé helyezve mint izzó nátriumgőzprizma hat. Az itt látható jelenségeket már BECQUEREL észlelte és 1901-ben JULIUS igen teljes leírásukat adta. A 70. rajz mutatja azokat a torzulásokat, melyek a fentebb leírt kísérletelrendezés

mellett a nátrium két  $D$ -vonala helyén megjelennek a  $CC$  folytonos színekben. Itt mindig teljesül az a törvény, hogy az elnyelési vonalak közelében a törésmutatók rendkívüli módon növekszenek, ha a hullámhosszak folytonos növekvéssel az elnyelt rezgések hullámhosszához közelednek. Kisebbedésöknél azonban a törésmutatók is igen gyorsan kisebbednek. A rendellenes szórás nemcsak különböző elemeknél nagyon különböző, hanem ugyanazon elem különböző vonalainál is. Így pl. tisztán felismerhető, hogy a szórás a nátrium  $D_2$  vonalánál erősebb, mint a  $D_1$ -nél. Az elmélet szerint a szórásnak valamennyi vonalnál kell mutatkoznia, kísérletileg azonban eddig a nátriumon kívül csak a káliumnál, a tellurnál és a lithiumnál sikerült megtalálni.

#### NYOLCZADIK FEJEZET.

### Az elemek színeképei.

Láttuk, hogy milyen jellemzők azok a színeképek, a melyeket gázállapotban levő elemek adnak, megismertük továbbá azoknak a gázalakú chemiai vegyületeknek színeképeit, melyek a fénykibocsátás előidézéséhez szükséges magas hőfokoknál nem bomlanak szét alkotórészeikre. Ezekből a jellegzetes színeképekből arra lehet következtetni, hogy a megvizsgált fényforrásban mely elemek, vagy azoknak milyen vegyületei vannak jelen.

Azok a gondos vizsgálatok, a melyeket különösen az utolsó két évtized folyamán az elemek színeképeire vonatkozólag végeztek, azonban arra az eredményre vezettek, hogy a viszonyok egyáltalán nem olyan egyszerűek, mint a hogyan azt eleinte hitték. Valamely határozott elemre a színekép ugyan mindig jellemző; csak hogy a legtöbb, vagy talán valamennyi elemnek nemcsak egy, hanem többféle jellemző színeképe van, a szerint, hogy milyen a fénykeltés módja. A különbségek oly messze mehetnek, hogy egy elemnek két, vagy több színeképe is lehet, melyek egymáshoz nem is hasonlítanak. Más esetekben van valami nagyobb, vagy kisebb hasonlatosság, a mennyiben bizonyos vonalak a két színeképben közösek, míg más vonalak más és más színeképe



jellemzők. Más esetekben a különbségek főleg csupán a vonalak intenzitására szorítkoznak.

A fénykeltésnek négy módja van, melyek lényeges pontokban különböznek egymástól és a melyek az elemek mindenkori természete szerint alkalmazhatók. Azokat az elemeket, a melyek már alacsony hőmérsékleten gázalakúak, vagy a melyeknek alacsony forráspontjuk van — a milyenek pl. a hidrogén, nitrogén, higany, nátrium — GEISSLER-féle csövekben lehet világítótá tenni, a mennyiben elegendően erős ritkításnál magas feszültségű elektromos áram számára bizonyos értelemben vezetőkké válnak. A gázok külső hőmérséklete ebben az esetben meglehetősen alacsony lehet, minden esetre tetemesen alacsonyabb lehet a tulajdonképpeni izzáshőmérsékletnél. Azok az elemek, a melyek magasabb hőfokon változnak gőzökké, de még a lángok, különösen a BUNSEN-láng hőmérsékleti határain belül, világítókká válnak, mihelyt belőlük elegendő mennyiséget teszünk a lángba. Ilyenek pl. a nátrium és a kálium. Azokat az elemeket, a melyeknek forráspontja a láng hőfokánál magasabb, csak az elektromos ívlámpa hőjében, vagy szikrával lehet gázalakba hozni és világítóvá tenni.

Az itt előállított hőmérsékletnek semmiféle eddig ismert elem sem tud ellenállani. Elektromos ív és szikra tulajdonképpen azonosak, csak hogy a szikránál az ívvel ellentétben leydeni-palaczkok segítségével az áram sűrűsége rendkívüli módon fokozható.

Azelőtt valamely anyagnak a fénykeltés módja szerint keletkező különféle színeképei között mutatkozó különbségeket egyedül a hőmérséklet hatásának tulajdonították. Később felismerték, hogy elektromos fénykeltés esetében nagyon bonyolultak a viszonyok, a melyeknek ismerete azonban még nagyon tökéletlen. Mégis számos fizikus teljesen kétségbevonta, vagy éppenséggel tagadta, hogy a színekben végbemenő változások összefüggésben állnak a hőmérséklettel, a nélkül, hogy e helyett valami más pozitív magyarázattal tudtak volna szolgálni. Úgy látszik, hogy csak a legújabb időben sikerül az elektron-elméletnek némi fényt deríteni a fizikának ezen kikutatlan területére; de e helyen ezzel nem foglalkozhatunk behatóbban. Csak azt említjük meg, hogy újabban ismét inkább hajlandók a hőmérsékletnek lényeges hatást tulajdonítani,

mint azelőtt, sőt némely megfigyelések a mellett szólnak, hogy még a gázok fénykibocsátása is közeli vonatkozásban áll a KIRCHHOFF-féle függvénynyel.

Az elektromosság segítségével világítótávká tett gázoknál azonban a sugárzás viszonyai minden körülmények között nagyon bonyolultak maradnak, mert sem a szikra, sem az ívfény magukban nem egyneműek. A gázok sűrűsége és hőmérséklete is a gáz belsejében nagyobb, mint a külső részeken; ezenkívül csak sejtesekre vagyunk utalva a két fényforrásban végbemenő ama változásokra vonatkozólag, a melyek létrejönnek, ha az elektromos állapotot oly eszközökkel (pl. leydeni-palaczkok közbeiktatásával vagy önindukció létesítésével) változtatjuk, a melyek alkalmasak a színekben erős változásokat létesíteni.

A színekpek változása tetemesen emeli azokat a nehézségeket, a melyek az elemek színekpe s egyéb fizikai tulajdonságai között lévő összefüggések felderítésének útjában állanak. Másrészt azonban a színekpek változása mindennemű elméleti meggondolást később majd elő fog segíteni, igaz, hogy csak akkor, ha majd a színekpeket egész terjedelmükben a legkülönbözőbb világítási föltételek között megvizsgálták és megismerték. Úgyszólván az összes elemek színekpéből eddig csupán a szikraszínekpekről vannak egyöntetű vizsgálataink, de ezek sem ölelik fel a színekp egész megvizsgálható terjedelmét, hanem annak jobban törő részére szorítkoznak  $\lambda$  4710 hullámhosszig. A vizsgálatok EXNER-től és HASCHEK-től származnak. A következő összeállításban a szikraszínekpekre vonatkozó összes adatok tőlük erednek, ha nem nevezünk meg külön más szerzőt. A következők jobb érthetősége céljából röviden ki kell tértünk az elemeknek ú. n. természetes rendszérére, a melyről bővebben minden újabb chemiai tankönyv tájékoztat.

Az elemekre nézve egyik fő jellemző adat az atómsúly. Ez az a viszonzyszám, a mely mutatja, hogy a különféle elemekből gázállapotban hány súlyrész egyesülhet chemiai vegyületté. Az összes elemek közül a hidrogénnek van a legkisebb atómsúlya, a melyet ezért egységül választottak. Az összes többi elemek atómsúlyai ennél fogva egynél nagyobb számok. Ha például az oxigénről azt mondjuk, hogy atómsúlya 16, az ólomé 207, ez annyit jelent,



hogy csak 16 súlyrész oxigén és 207 súlyrész ólom vegyülhetnek egymással, vagy pedig ezeknek egészszámú sokszorosai, pl.  $2 \times 16 = 32$  súlyrész oxigén és 207 súlyrész ólom; de az nem lehetséges sohasem, hogy *tetszőleges* arányokban vegyüljenek. Egyszerűség kedvéért az atómsúlyokat mindig egész számokban fogjuk kifejezni; a valóságban ezek a viszonyszámok nem oly egyszerűek, bár tagadhatatlan, hogy kevés kivétellel igen közel állanak az egész számokhoz. Hosszú ideig azt tartották, hogy az egész számoktól való eltérés csak az atómsúlyok meghatározásánál elkövetett hibák következménye, vagy pedig az illető anyagok tisztátalanságával áll összefüggésben. Azt is gondolták, hogy a hidrogén a tulajdonképpeni őanyag, és hogy az elemek nem egyebek, mint a hidrogénatómok különféle összetételei. E szerint pl. az oxigénatómnak 16, az ólomnak 207 ilyen atómból kellene állania.

Mikor kétségtelenül kiderült, hogy a klór atómsúlya közel 35, még azt a föltevést lehetett segítségül venni, hogy már a hidrogénatóm maga valami alapelemnek két atómjából van összetéve, míg a többi elemek főleg ennek az ikeratómnak többszöröséből állanak, de némely esetben az egyes atómnak páratlan számú többszöröséből tevődnek össze, mint pl. a klór is. Még ma is nagyon elterjedt az a nézet, hogy a hidrogén az alapelem; de a többi elem szerkezetét már egyáltalán nem képzelik olyan egyszerűnek, mint azelőtt, legalább is nem abban az értelemben, hogy az atómsúly egyszerűen az alapelem atómjainak számával azonos. Így előfordul pl. az, hogy két különböző elem atómsúlya között levő különbség kisebb az egynél, a mire érdekes például szolgálhat a nikkel és a kobalt. A legújabb mérések szerint a kobalt atómsúlya 59,0, a nikkelé pedig 58,7, míg más meghatározások szerint a két fém atómsúlya még közelebb van egymáshoz, úgy, hogy nem lehet eldönteni melyiké a nagyobb. És mégis oly két elemmel van itt dolgunk, a melyek bár több tekintetben hasonlóak, egész határozott jellemző tulajdonságokban különböznek.

Ma biztos ténynek tekinthetjük, hogy minden elemnek változhatatlan, egészen határozott atómsúlya van, hogy az anyagok az elemekből nem tevődhetnek össze tetszés szerinti módon, pl. úgy, hogy folytonos sorozatot alkossanak. Nincsen tehát végtelen sok elem, hanem az anyag kénytelen nem folytonos módon, de egészen

határozott viszonyok szerint vegyületekké formálódni s az ilyen találkozási ponttól a következőkig más összetevődések nem lehetségesek. Más szavakkal az anyag szerkezetéről a következő alapelvet állíthatjuk fel: *Az atómsúly az a változhatlan és jellemző tulajdonság, a melytől az elemek összes kémiai és fizikai tulajdonságai kizárólag függenek.* E tétel rendkívül fontos. Azonnal következik belőle, hogy mi előre meg tudnók mondani a természettől létrehozható összes elemeket (ezek nem tévesztendőek össze azokkal, a melyeknek léte már ismeretes) összes tulajdonságaikkal együtt, ha ismernők azt a törvényt, a mely szerint az atómsúlyok keletkeznek. De erről az ismeretről még szó sem lehet; az uralkodó alaptörvényről még sejtelmünk sincsen, de *statisztikailag* annyit már mégis tudunk, hogy e vizsgálatok gyakorlati végcéljától nem vagyunk oly nagyon távol.

Ha a kémiai elemeket atómsúlyuk szerint rendezzük, akkor azt tapasztaljuk, hogy az atómsúly változásával a legtöbb kémiai és fizikai tulajdonság folytonos változása jár együtt, vagy mindig emelkedő, vagy mindig csökkenő mértékben, de emelkedésből csökkenésbe is átmenve, vagy megfordítva. Végül az atómsúlynak valamilyen nagyon kicsiny növekedésekor a tulajdonságok hirtelen megváltozása mutatkozik, valami visszacsapásféle, úgy hogy most ismét a kezdeti elemmel való hasonlatosság lép homloktérbe; a tulajdonságok változásai tehát szabályszerűen megismétlődnek, vagy a mint mondani szokás: periodusosak. Ilyen periodusos változásokat főleg a következő tulajdonságok mutatnak: az elemek vegyértéke az oxigénnel és hidrogénnel való vegyületeknél, az atómtérfogat, a fajsúly, nyújthatóság, olvadás stb. és — miként látni fogjuk — a színekre vonatkozó bizonyos tulajdonságok.

Az egy periodusba tartozó elemek száma vagy 8, vagy 19. Ezen szempontok szerint állította fel MENDELEJEFF az elemek természetes periodusos rendszerét. Ebben azonban könnyen érthető okokból még számos hézag van, hiszen még távol vagyunk attól, hogy az összes létező elemeket ismerjük. De az, hogy ez a beosztás mennyire természetes, legjobban abból világlik ki, hogy a rendszerből következtethető tulajdonságok alapján néhány eddig ismeretlen elemet sikerült rendszeres kutatással felfedezni.



A hidrogént, a melynek atómsúlya valamennyi eddig ismert elem között a legkisebb s a melyet ezért egységül vesznek, nem lehet közvetlenül a természetes rendszerben elhelyezni. Ennek valószínűleg az az oka, hogy a könnyebb elemeknek még egész sora van, a melyek még ismeretlenek és a melyek a hidrogénnel külön periodust alkotnak. Nagyon elterjedt az a nézet is, hogy a hidrogén, miként már említettük, a tulajdonképpeni őselem, a melyből az összes többi elemek a hidrogénatómok csoportosulása folytán alakulnak. De alapelemnek nem azt a hidrogént kellene tekintenünk, a melyet mi ismerünk, hanem azt a változatát, a mely a legmagasabb hőfokok alkalmával észlelhető. Az itt számbavehető magas hőfokokat a laboratóriumban még közelítően sem tudjuk előállítani; hasonló magas hőfok csak némely csillagokon fordul elő. A hidrogénnek erről az alakjáról színeképének egy tulajdonságánál egyebet eddig nem tudunk, a miről majd alább szólnunk.

Az elmondottak alapján, ha az elemeket természetes elrendezésük szerint táblázatba foglaljuk, akkor a vízszintes sorokban és a függőleges oszlopokban egyaránt bizonyos hasonlatosságok haladványszerűen fokozódnak. Abból a célból, hogy ez a hasonlatosságbeli fokozódás a nagy periodusoknál is szembetűnő legyen, a sorokat két kisebbre osztottuk olyanformán, hogy két függőleges oszlopba helyeztük el (jobb- és baloldali), egyúttal új kilencedik függőleges csoportot iktattunk közbe, a mely ha egyáltalán tartalmaz elemeket, akkor mindig hármát ölel fel. Az egyes periodusokat vízszintes vonások választják el egymástól, kivéve a magas atómsúlyú elemek periodusait, hol a számos hézag miatt az elválasztás még nem bizonyos.

Az egymásra következő elemek atómsúlyai között a különbség átlag 2 vagy 3, a függőleges oszlopok elemei között pedig 16, vagy  $3 \times 16 = 48$ .

Számos kísérletet végeztek abból a célból, hogy a különböző elemek atómsúlyai között további törvényszerűségeket fedezzenek fel; az eredmények a legegyszerűbb összefüggések és bonyolult matematikai képletek között ingadoznak. Pozitív értékük nincs, mert hozzávetéseknél nem egyebek. Egyes elemek igen jól símulnak az ilyenféle képletekhez, mások pedig teljesen eltérően viselkednek. Ezért nem is foglalkozunk tovább ezekkel a kísérlete-

zésekkel, hanem rátérünk annak tárgyalására, hogy milyen összefüggés van az elemek chemiai és fizikai tulajdonságai között és hogy mi a helyzetük a periodusos rendszerben.

### A periodusos rendszer.

(Az elemek jelei alatt levő számok az atómsúlyok).

Periodus	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
	c s o p o r t								
I.	<i>He</i> 4	<i>Li</i> 7	<i>Be</i> 9	<i>Bo</i> 11	<i>C</i> 12	<i>N</i> 14	<i>O</i> 16	<i>Fl</i> 19	
II.	<i>Ne</i> 20	<i>Na</i> 23	<i>Mg</i> 24	<i>Al</i> 27	<i>Si</i> 28	<i>P</i> 31	<i>S</i> 32	<i>Cl</i> 35	
III.	<i>Ar</i> 40	<i>K</i> 39	<i>Ca</i> 40	<i>Sc</i> 44	<i>Ti</i> 48	<i>V</i> 51	<i>Cr</i> 52	<i>Mn</i> 55	<i>Fe</i> 56
IV.	—	<i>Cu</i> 64	<i>Zn</i> 65	<i>Ga</i> 70	<i>Ge</i> 72	<i>As</i> 75	<i>Se</i> 79	<i>Br</i> 80	<i>Co</i> 59
V.	<i>Kr</i> 82	<i>Rb</i> 85	<i>Sr</i> 88	<i>Y</i> 89	<i>Zr</i> 91	<i>Nb</i> 94	<i>Mo</i> 96	—	<i>Ni</i> 59
VI.	=	<i>Ag</i> 108	<i>Cd</i> 112	<i>Jn</i> 115	<i>Sn</i> 119	<i>Sb</i> 120	<i>Te</i> 127	<i>J</i> 127	<i>Ru</i> 102
VII.	<i>X</i> 130	<i>Cs</i> 133	<i>Ba</i> 137	<i>La</i> 139	<i>Ce</i> 140	<i>Pr</i> 142	<i>Nd</i> 144	<i>Sa</i> 150	<i>Rh</i> 103
VIII.		—	—	—	—	<i>Ho</i> 160	<i>Er</i> 166	<i>Tm</i> 171	<i>Pd</i> 107
IX.		—	—	<i>Yb</i> 172	—	<i>Ta</i> 181	<i>W</i> 184	—	<i>Os</i> 191
X.		<i>Au</i> 197	<i>Hg</i> 200	<i>Tl</i> 204	<i>Pb</i> 207	<i>Bi</i> 208	—	—	<i>Ir</i> 193
XI.		—	<i>Ra</i> 226	—	<i>Th</i> 232	—	<i>U</i> 238	—	<i>Pt</i> 195

Legelsősorban szembetűnők a vegyértékekre vonatkozó összefüggések. Vegyértéken értjük azt a számot, a mely megmondja, hogy legföljebb hány hidrogénatóm vegyülhet valamely más elem egy atómjával. Ha ez az elem nem vegyül a hidrogénnel, akkor alapul a klórt, az oxigént vagy a ként választjuk. De meg kell



jegyeznünk, hogy ebben a tekintetben ugyanannak az elemnek a vegyértékűségében némelykor nagy különbségek vannak.

Azokról az elemekről, a melyeknek atómja csak *egy* hidrogén-atómot bír lekötni, azt mondjuk, hogy egyvegyértékűek, vagy hogy egyértékűek. Ha a hidrogénnel szemben tanúsított vegyértékűségre szorítkozunk, akkor kitűnik, hogy azoknak az elemeknek van a legkisebb vegyértéke (t. i. 0), melyek az előbbi táblázatban a vízszintes sorok legelején foglalnak helyet. (Ez tehát az első oszlop.) Ezek az ú. n. nemes gázok, a melyeknek eddig egyetlen vegyülete sem ismeretes. A második és a nyolczadik oszlopban csak egyvegyértékű elemek fordulnak elő, a harmadik és a hetedik oszlopban csak kétvegyértékű elemeket találunk, a negyedik és a hatodik oszlopban háromvegyértékűeket, az ötödik oszlopban csak négyvegyértékűeket. A kilencedik oszlop elemeire itt nem vagyunk tekintettel, mert ezek a hidrogénnel nem alkotnak vegyületeket. Az elmondott szabályosság alól nincs kivétel.

A vegyértékek eloszlásával kapcsolatban áll a fémekre és nemfémekre való tagozódás. Itt azonban nem találkozunk ilyen tökéletes szabályszerűséggel, a mely már csak azért sem lehetséges, mert számos elem a fémnek és nemfémnek tulajdonságait egyesíti magában. A két csoport között azt vehetjük legfőbb különbségnek, hogy a fémek túlnyomóan bázistermészetű, a nemfémek pedig savtermészetű vegyületeket alkotnak. A 2. és 3., valamint a 9. oszlopban foglalt elemek határozottan fémek, csak a 9. oszlopban levő ozmium mutat nemfémessé tulajdonságokat is. A 2. oszlopban a baloldalt levő elemek oxidjai szolgáltatják a legerősebb bázisokat. Ez a tulajdonság még a 3. oszlopban is erősen érvényesül. A 4., 5., 7. és a 8. oszlopban fémek és nemfémek vegyest szerepelnek egymás mellett; a 6., 7. és 8. oszlopban részben az oxidok alkotják a legerősebb savakat.

A jellemző fizikai sajátságok közül különösen kettő, az olvadáshőmérséklet és az atómtérfogat ismeretes jobban. Ezek a tulajdonságok egyszersmind a legvilágosabban mutatják a periodusos jellemvonást. Az olvadáshőmérséklet ugyan nem valóban állandó jellemvonás, mert változik pl. a nyomással; de változásai aránylag csekélyek, úgy hogy itt elhanyagolhatók. Az olvadáshőmérséklet, vagyis az a hőmérséklet, a melynél valamely elem szilárd halmaz-

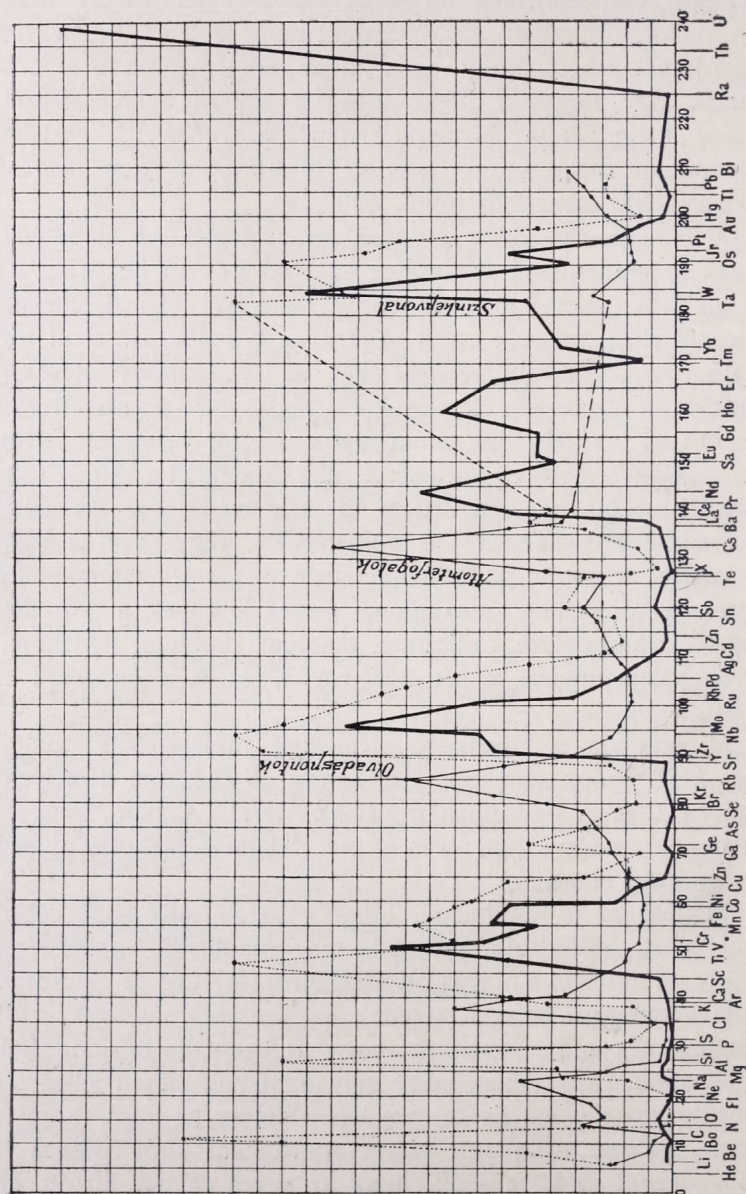
állapotból cseppfolyósba megy át, némely elemnél oly magas, hogy laboratóriumban az olvasztást nem is lehet véghezvinni. Előfordulhat az is, hogy ez a hőmérséklet magasabb a forráspontnál, úgy hogy az illető anyag a szilárd halmazállapotból hirtelen megy át a gáznemű halmazállapotba. Ily esetekben elegendő azt megjegyezni, hogy az olvadáspont igen magasan, általában 2500 (abszolút) fokon felül van.

A 71. rajzban közölt grafikai ábrázolásban az alapvonalon vannak az atómsúlyok feltüntetve egyenlő hosszú közőkkel, 0-tól 240-ig. Ebben a skálában az eddig ismeretes elemek helyzetét kis vonal jelzi, melynek egyik végénél a hozzátartozó elem jegye látható. Az olvadáshőmérsékleteket az alapvonalra merőleges magasságok ábrázolják, a melyeknek végpontjait pontozott görbe köti össze; ez tehát az atómsúlyok szerint rendezett elemek olvadáshőmérsékletének görbéje. A ritka elemeknél a 140 és 180-as atómsúly között, továbbá 210-en túl már hiányzanak az adatok az olvadáshőmérsékletről. De mindamellett, hogy ezek az adatok hiányzanak, a görbe periodusos jellemvonása félreismerhetetlen. Az olvadáshőmérséklet maximumai élesen kitűnnek a következő elemeknél: karbonium, szilícium, titanium, niobium, tantalium, a melyek valamennyien a két középső 5. és 6. csoporthoz tartoznak.

Minimumok a következő elemeknél mutatkoznak: oxigén, fluor, klór, bróm, krypton, jód, xenon és caesium, a melyek a külső 1., 2. és 8. oszlopban foglalnak helyet. A már amúgy is kivételes 9. oszlop csupa olyan elemet tartalmaz, melynek olvadáshőmérséklete magas.

Feltűnő az a körülmény, hogy gyakran még igen csekély atómsúlybeli különbség mellett is mily rendkívüli hirtelenséggel történik az átmenet a magas olvadáshőmérsékletről az alacsonyra. A maximumoknál látható meredek emelkedések mutatják ezt. Itt melleleg meg kell jegyeznünk, hogy az ilyenfajta tulajdonságokból láthatjuk a legjobban, hogy mily rendkívül élesen jellemzi az atómsúly az elemet. Ezért nem lehet kétség az iránt, hogy az elemek egészen határozott atómcsoportosulásokból épülnek fel. Ebből viszont az következik, hogy az egyes elemek között nincsen folytonos átmenet. Erre a tényre már fentebb reámutattunk.





71. rajz.

Az atómtérfogat fogalmát ilyenformán határozhatjuk meg: valamely anyag *egy* grammjának térfogatát speczifikus vagy fajlagos térfogatnak mondjuk; ha ezt megszorozzuk a megfelelő atómsúllyal, megkapjuk az atómtérfogatot. Ennek az állandónak a fizikai jelentéséről meg kell jegyeznünk, hogy az atómtérfogatok maguknak az atómoknak viszonylagos térfogatai lennének, ha valamennyi elemnél az atómközi tér egyenlő nagy lenne. De a valóságban ez bizonyára nem így van és ezért az atómtérfogatok azoknak a térfogatoknak az összegei, a melyeket az atóмок és a közöttük levő »üres tér« együttesen elfoglalnak.

A 71. rajzon az atómtérfogatokat hasonló módon szemléltetjük, mint az olvadáshőmérsékletet. A térfogatokat vékonyan kihúzott vonal köti össze. A maximumok, a mennyire követni lehet — 140 atómsúlyig — a lithium, nátrium, kálium rubidium és caesiumnál vagyis az ú. n. alkalikus fémeknél vannak, a melyek a második csoport teljes sorozatát alkotják. A maximumok meglehetősen élesen jutnak kifejezésre s magasságuk az atómsúllyal együtt nő. A minimumok elég szélesek s az 5—9. csoportokhoz tartoznak. A maximumok körülbelül középen fekszenek az olvadáshőmérsékletek maximumai és minimumai között.

Ha azokat az összefüggéseket vizsgáljuk, a melyek az elemeknek spektroszkópi viselkedése és a periodusos rendszerben elfoglalt helye között felismerhetők, akkor EXNER és HASCHEK vizsgálatai alapján közvetlen összefüggést állapíthatunk meg valamely elem színképvonalainak száma és a periodusos rendszerben elfoglalt helye között. Az előforduló eltérések és kivételek egyáltalán nem bizonyítanak ezen összefüggés ellen, mert kétféle olyan okot is ismerünk, mely ilyen eltéréseket előidéz. Az egyik az a körülmény, hogy a színképek teljesen önkényes helyen vannak megszakítva, úgy hogy kiegyenlítőds nem jöhet létre. A másik ok pedig az, hogy az elemek színképi érzékenysége nagyon különböző, különösen a gyöngébb vonaloknál, úgy, hogy ezen színképekben különben egyenlő körülmények között a leggyöngébb vonalak észre sem vehetők. Ha ezt a két körülményt számbavesszük, akkor inkább feltűnőnek kell találnunk azt a rendkívüli határozottságot, a melylyel az említett összefüggés mutatkozik.



A következő táblázatban az elem jele alatt a színekpvonalak számát találjuk.

Periodus	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
	c s o p o r t								
I.	He 9	Li 9	Bc 9	Bo 3	C 13	N 89	O 104	Fl 0	
II.	Ne	Na 8	Mg 46	Al 105	Si 44	P 0	S 0	Cl 11	
III.	Ar	K 27	Ca 47	Sc 131	Ti 1337	V 2265	Cr 1572	Mn 1152	Fe Ni Co 1517 503 1295
IV.	—	Cu 159	Zn 108	Ga 14	Ge 62	As 44	Se 0	Br 0	
V.	Kr	Rb 55	Sr 40	Y 194	Zr 1424	Nb 1606	Mo 2674	—	Ru Rh Pd 1575 855 517
VI.	—	Ag 372	Cd 113	Jn 30	Sn 87	Sb 160	Te 79	J 0	
VII.	X	Cs 62	Ba 101	La 215	Ce 1300	Pr 1526	Nd 2014	Sa 976	Eu Gd — 1193 1150
VIII.		—	—	—	—	Ho 1905	Er 1508	Tm 237	
IX.		—	—	Yb 897	—	Ta 1213	W 3022	—	Os Ir Pt 838 1380 580
X.		Au 352	Hg 94	Tl 16	Pb 74	Bi 98	—	—	
XI.		—	Ra 17	—	Th 2070	—	U 5270	—	— — —

Az első csoportnak, az ú. n. nemes gázoknak vonalai nincsenek feltüntetve, mert EXNER és HASCHEK ezeket az elemeket nem észlelték.

A fentebbi táblázatos összeállításból többféle következtetést vonhatunk:

1. A vonalak száma általánosságban növekszik az atómsúllyal. Különösen kicsiny ez a szám a két első periodus kicsiny atómsúlyainál.

2. A páratlan vízszintes sorokban a vonalszám sokkalta nagyobb, mint a páros sorokban és ezek a számok a sor rend-

számával növekszenek. A következő összeállítás különösen szembe-  
szökően tünteti fel ezt a körülményt. Itt az első oszlopban találjuk  
az illető sor közepes vonalszámát, a második oszlopban pedig a  
közepes atómsúlyt. A VIII. sor sokkal kevesebb ismert elemet  
tartalmaz, semhogy a középszámok helyes képet nyújtanának.  
Ugyanebből az okból nagyon bizonytalan az utolsó sor is. De  
azért mégis feltüntettük a középtértéket, nehogy teljesen mel-  
lőzzük az érdekes legnehezebb elemeket, kizárva a rádiumot,  
melynek helye még bizonytalan.

Sor	Közepes vonalszám	Közepes atómsúly
I.	32	13
II.	31	29
III.	985	50
IV.	67	72
V.	995	94
VI.	120	118
VII.	949	143
VIII.	—	—
IX.	1322	187
X.	126	203
XI.	3670	237

A vonalszámok viselkedéséről a 71. rajz grafikai ábrázolása  
(a vastagon kihúzott vonal) ad összefoglaló, áttekinthető képet.  
Mint a két másik görbénél, itt is a maximumok legtöbbszörre igen  
élesek és az oxigénnél, az alumíniumnál, vanádiumnál, molybdaen-  
nél, neodýmiumnál, wolframnál és az urániumnál jelennek meg.  
A két első maximum aránylag nagyon kicsiny, de azután a növekvő  
atómsúlyokkal együtt erősen nagyobbodnak. Legnagyobb érté-  
küket az urániumnál éri el 5270 vonallal. Jellemző az a körülmény,  
hogy az összes maximumok egy-három elemmel el vannak  
tolva az olvadás hőmérsékletek maximumaihoz képest a növekvő  
atómsúlyok irányában. Egyebekben a két görbe között nagy a  
hasonlatosság, a mely még az egyes kiemelkedések csipkézettségé-  
ben is érvényesül.

Egyelőre nem látszik helyénvalónak, hogy az EXNER és HASCHEK  
szolgáltatta anyagból további következtetéseket vonjunk.



Összesen közel 50000-re rug azoknak a vonalaknak a száma, a melyeket EXNER és HASCHEK a színekép fotografálható részében megmért. Ezt a számot talán mintegy 20000-el kell még megtoldani, ha tekintettel vagyunk a megfigyelésnek hozzáférhető teljes színképre. E helyütt tehát nem adhatjuk az egyes elemek színekép-vonalainak jegyzékét, sőt még a főbb vonalak felsorolása is messze vezetne. Ezért arra kell szorítkoznunk, hogy felsoroljuk az egyes elemeknél a vonalak számát és hogy röviden ismertessük a színképek főbb jellemző adatait, különösen a vonalaknak csoportokba való rendeződésére vonatkozólag, a mennyiben ez egyáltalán ismeretes. Viszont oly könyv, mely az anyagnak a világegyetemben való fizikai szerkezetével foglalkozik, nem zárkozhatik el az elől, hogy legalább az elemeknek fontosabb fizikai sajátosságait röviden fel ne sorolja, a milyenek az atómsúly, halmazállapot, fajsúly, olvadáspont, forráspont, allotróp állapot stb. A halmazállapot adata a közepes 15—20 Celsius-foknyi (laboratóriumi) hőmérsékletre vonatkozik. Szilárd és cseppfolyós anyagoknál a fajsúly egységéül a vizét választottuk, gáznemű anyagoknál a légkörbeli levegőt 760 mm. barométerálláson és 0° hőmérsékleten.

1. *Hidrogén (H)*. Atómsúlya 1; gáznemű; fajsúlya 0.07; forráspontja — 241°; olvadáspontja — 257°. Színeképe 29 vonalból áll  $\lambda$  6560-tól  $\lambda$  3660-ig. Már előbb részletesen elmondtuk a 169. lapon, hogy e vonalak hullámhosszai között milyen egyszerű összefüggések vannak a BALMER-féle formula szerint. Újabban kiderült, hogy ez a feltűnő sorozat a hidrogénnek nem a főcsoportja. Ez megegyezik azzal a tétellel, hogy a sorozatok kezdete növekvő atómsúlylyal a színeképnek kevésbbé törékeny oldala felé tolódik el. Minthogy a hidrogén valamennyi elem között a legkönnyebb, azért nála a fősorozat kezdetének egészen az ibolyántúli részbe kell esnie. PICKERING csillag-színeképekben a hidrogénnek valami új vonalsorozatát fedezte fel, a mely KAYSER szerint szintén mellékcsoport, úgy, hogy eddig a hidrogénvonalaknak két mellékcsoportja ismeretes, a melyek egymással igen egyszerű összefüggésben állanak. Ködfoltok színeképében és oly csillagok színeképében, a mely fényes vonalakat mutat, a  $\lambda$  4688-nál egy vonalat figyeltek meg, a melyet a hidrogénhez tartozónak gondolnak s a mely valószínűleg a főcsoport első vonala.

A hidrogén vonalsoros színeképe akkor keletkezik, ha magas feszültségű elektromos áram megy GEISSLER-féle csőben levő alacsony nyomású gázon keresztül. Bizonyos körülmények között azonban teljesen másfajta színekép keletkezik, a hidrogénnek úgynevezett második színeképe. Akkor jelenik ez meg, ha hidrogénes csőben fénycsóvás kisülést létesítünk, a mihez tág cső kell és leydeni-palaczkot nem szabad közbekapcsolni. WILSING mintegy 130 vonalat mért  $\lambda$  3670-től  $\lambda$  5940-ig; FROST pedig 90 vonalat  $\lambda$  4360-től  $\lambda$  4720-ig. Arra nézve, hogy jelennek-e meg itt csoportok, úgy látszik még nincsenek vizsgálatok.

Egyébiránt lehetetlen a két színeképet élesen szétválasztani. Ha az egyik színekép vonalai uralkodnak is, a másik színekép vonalai azért mégis mindig gyengén jelentkeznek.

1. csoport. A nemes gázok. Hélium, neon, argon, krypton, xenon.

2. *Hélium (He)*. Atómsúlya 4; gáznemű; fajsúlya 0.14; forráspontja — 269°. A héliumnak 89 vonala ismeretes. Közülök kettő a legszélsőbb ultravörösben fekszik  $\lambda$  20400-nál és  $\lambda$  11170-nél; ezeket a vonalakat hősugárzásuk alapján fedezték fel. A héliumvonalakat 6 csoportba lehetett sorozni, két főcsoportba két-két mellékcsoporttal. Az 1. és 2. mellékcsoport vonalai szűk kettősvonalak. Közéjük tartozik a  $D_3$ -vonal, mely a Nap-perem és néhány ködfolt színekéből már régóta ismeretes volt, mielőtt magát a héliumot a Földön felfedezték. Egyideig azt gondolták, hogy a cleveit nevű ritka ásványból előállított hélium elege a tulajdonképpeni héliumnak valamely más gázzal, a parhéliummal; de ez a föltevés nem bizonyult helyesnek.

3. *Neon (Ne)*. Atómsúlya 20; gáznemű; fajsúlya 0.69; eddig nem sikerült folyóssá tenni. RAMSAY szerint színeképében 11 vonal van.

4. *Argon (Ar)*. Atómsúlya 40; gáznemű; fajsúlya 1.38; forráspontja — 187°. Színeképe igen bonyolult, a mennyiben három különböző színeképe van. A »vörös színekép« — így nevezik a világító argon vörös színe miatt — a GEISSLER-féle csőben keletkezik mérsekelt alacsony (2—5 mm) gáznyomásnál és indukciós áramok alkalmazásánál leydeni-palaczkok bekapcsolása nélkül. A »kék színekép« alacsony nyomásnál és leydeni-palaczkok bekapcsolása



mellett létesül. A »fehér színekép« akkor keletkezik, ha magas-feszültségű és erős áramot használunk. A vörös és a kék színekép erősen különbözik egymástól. A vonalakban szegényebb fehér színekép mind a két fajta vonalból áll, de közülök többen ki vannak szélesedve és szembetűnően a vörös felé vannak eltolva.

EDER és VALENTA a vörös színeképben  $\lambda 6050$ -tól  $\lambda 2480$ -ig 200-nál több vonalat mért ki, melyeknek legnagyobb része a vörösben és a sárgában fekszik.  $\lambda 3320$ -on túl már csak egyes külön vonalak fordulnak elő. Leggazdagabb vonalakban a kék színekép, a mely  $\lambda 2050$ -ig 700 vonalat tartalmaz. A fehér színekép ibolyántúli részében a vonalszám erősen csökken;  $\lambda 3290$ -en túl nem mértek vonalat. A vonalak összes száma mintegy 180.

5. *Kripton (Kr)*. Atómsúlya 82; gáznemű; fajsúlya 2·82; forráspontja  $-152^{\circ}$ . RAMSAY szerint színeképe 14 vonalat tartalmaz.

6. *Xenon (X)*. Atómsúlya 130; gáznemű; fajsúlya 4·42; forráspontja  $-109^{\circ}$ .

2a. csoport. Az alkali fémek. Lithium, nátrium, kálium, rubidium, caesium.

7. *Lithium (Li)*. Atómsúlya 7; szilárd; fajsúlya 0·53; olvadáspontja  $180^{\circ}$ ; forráspontja bizonytalan. A lithiumnak ívfény segítségével előállított színeképe  $\lambda 8130$ -tól  $\lambda 2360$ -ig 20 vonalat tartalmaz, melyeket egy fő- és két melléksorozatba lehet foglalni. A főszorozat vonalai igen erősek és elmosódottak; a legfényesebb vonalak a vörösben és a narancsszínben vannak  $\lambda 6708$ -nál és  $\lambda 6104$ -nél; ezektől a vonalaktól származik a világító lithiumgőznek szép vörös színe.

8. *Nátrium (Na)*. Atómsúlya 23; szilárd; fajsúlya 0·97; olvadáspontja  $96^{\circ}$ ; forráspontja  $900^{\circ}$ . Ívfényszíneképében 35 vonal van  $\lambda 8190$ -tól  $\lambda 2510$ -ig, a melyeket kétszer három-három sorozatba lehet csoportosítani. De két-két sorozat vonalai oly közel összesznek, hogy éppen úgy a vonalpároknak három csoportját lehet föltételezni. A főcsoport első vonalpárja az ismeretes *D*-vonalak  $\lambda 5896$ -nál és  $\lambda 5890$ -nél; ezektől ered a világító nátriumgőznek intenzív sárga színe. A főcsoport legközelebbi vonalpárja már az ibolyántúli színeképbe esik  $\lambda 3303$ -nál és  $\lambda 3302$ -nél. A többi vonalpárok oly közel vannak egymáshoz, hogy többé külön nem választhatók.

9. *Kálium (K)*. Atómsúlya 39; szilárd; fajsúlya 0·86; olvadáspontja  $63^0$ ; forráspontja  $720^0$ . Szikraszínképében 27 vonalat mértek meg, ívfényszínképében pedig 40 vonalat  $\lambda 7700$ -tól  $\lambda 2940$ -ig. Két melléksorozaton kívül a vonalpároknak egy fősorozata is jelen van. Ennek első vonalpárja a legszélső vörösben fekszik  $\lambda 7699$ -nél és  $\lambda 7666$ -nál. A többi vonalpárok, melyek szintén igen fényesek, a kékben és az ibolyaszínben vannak; ezek között fekszenek a mellékcsoportok gyöngébb vonalai. A világító káliumgőz vöröses-ibolyaszíne a főcsoport vonalaitól származik.

10. *Rubidium (Rb)*. Atómsúlya 85; szilárd; atómsúlya 1·52; olvadáspontja  $38$ ; forráspontja bizonytalan. A rubidium szikraszínképe 53 vonalat mutat, ívfényszínképe pedig  $\lambda 7950$ -tól  $\lambda 3350$ -ig 25 vonalat, a melyek három sorozatba csoportosíthatók. A fősorozat vonalpárokból tevődik össze, melyeknek elseje  $\lambda 7950$ -nél és  $\lambda 7806$ -nál van és a mely néhány más, a melléksorozatokba tartozó, a színkép vörös és sárga részében levő vonallal együtt adja a rubidiumgőz túlgönyörű vörös színét.

11. *Caesium (Cs)*. Atómsúlya 133; szilárd; fajsúlya 1·9; olvadáspontja  $26^0$ ; forráspontja  $670^0$ . A caesium szikraszínképe 62 vonalból áll, ívfényszínképét pedig  $\lambda 9210$ -tól  $\lambda 3610$ -ig 20 vonal alkotja. A főcsoport és egy mellékcsoport ismeretes, a második mellékcsoport még ismeretlen. Valószínű, hogy vonalai túlgönyörűek.

Az alkalikus fémek színképei igen jellemző tulajdonságokat mutatnak. T. i. a vonalpároknak egy fő- és két mellékcsoportjából állanak. A vonalpároknak egymástól való távolsága a növekvő atómsúlylyal együtt nő. Ez a következő összeállításból látható, a melyben a hullámhosszak különbségei helyett az első pár rezgésszámainak különbsége szerepel.

Elem	Különbség
<i>Li</i>	—
<i>Na</i>	16
<i>K</i>	57
<i>Rb</i>	235
<i>Cs</i>	550



A lithiumnál csupán egyszerű vonalakat figyeltek meg. De az előbbi összeállítás alapján föltehető, hogy a lithium színképében is vannak kettős vonalak, csak hogy egymástól való távolságuk oly csekély, hogy szétválva nem láthatók. Másik törvényszerűség az, hogy ennek a csoportnak valamennyi fémjénél a vonalpároknak egymástól való távolsága a KAYSER-RUNGE-féle sorozategyenlet  $n$  számának negyedik hatványával arányosan fogy. A párok tehát annál szorosabbak, mennél inkább esnek a színkép ibolyaszínű részébe. Végül megjegyezhetjük, hogy a mellékcsoportok vonalai aránylag annál gyöngébbekké válnak, mennél nagyobb az illető fém atómsúlya.

---

*2b. csoport. Réz, ezüst, arany.*

12. *Réz (Cu).* Atómsúlya 64; szilárd; fajsúlya 8·94; olvadáspontja 1084°; forráspontja 2100°. Szikraszínképében  $\lambda$  4700-tól  $\lambda$  2100-ig 259 vonalat figyeltek meg, ívfényszínképében pedig  $\lambda$  5780-tól  $\lambda$  1940-ig 290 vonalat. Egyik fősorozatából talán az első vonalpár ismeretes  $\lambda$  3274-nél és  $\lambda$  3248-nál; ezek a réz legerősebb vonalai. Egyik melléksorozatból is ismeretes 3 vonalpár; ezeknél az a sajátosság mutatkozik, hogy az első vonal maga is kettős.

13. *Ezüst (Ag).* Atómsúlya 108; szilárd; fajsúlya 10·5; olvadáspontja 954°; forráspontja 1660°—2000° között. Szikraszínképében 372 vonalat mértek meg. Ívfényszínképe  $\lambda$  5670 és  $\lambda$  2250 között 60 vonalat mutat. Két melléksorozatot találtak és a rézhez hasonlóan egy fősorozatnak valószínűleg az első vonalpárját; a fősorozatnak többi vonalpárjai a legszélsőbb ultraibolyaszín-részben fekszenek.

14. *Arany (Au).* Atómsúlya 197; szilárd; fajsúlya 19·27; olvadáspontja 1064°; forráspontja bizonytalan. Szikraszínképe 352 vonalat tartalmaz, ívfényszínképe pedig 55-öt. Sorozatokat eddig még nem sikerült felfedezni, de valószínű, hogy az ibolyántúli részben levő két igen erős vonal a fősorozatnak első vonalpárja, úgy, mint a réznél és az ezüstnél.

---

*3a. csoport. Az alkalikus földek. Beryllium, magnézium, kalcium, strontium, baryum, (rádium).*

15. *Beryllium* (Be). Atómsúlya 9; szilárd; fajsúlya 1·93; olvadáspontja  $900^{\circ}$ ; forráspontja bizonytalan. A szikraszínképében mutatkozó vonalak száma 9. Sorozatokat eddig még nem találtak.

16. *Magnézium* (Mg). Atómsúlya 24; szilárd; fajsúlya 1·74; olvadáspontja  $650^{\circ}$ ; forráspontja  $1100^{\circ}$ . Szikraszínképében 46, ívfényszínképében 58 vonal van. Főszorozatot még nem találtak, de felfedeztek két melléksorozatot, melyek háromszoros vonalakból, ú. n. tripletekből vannak összetéve. Ezeknél a háromszoros vonalaknál az első és második, továbbá a második és harmadik vonal rezgésszámai között állandó a különbség, és mindkét sorozat a színkép ugyanazon helyén végződik. A második melléksorozat első tripletje az ismeretes zöld erős vonalcsoport, melyet a Nap színképében *b*-vel szokás jelölni.

17. *Kalcium* (Ca). Atómsúlya 40; szilárd; fajsúlya 1·58; olvadáspontja  $790^{\circ}$ ; forráspontja bizonytalan. Szikraszínképe 47 vonalat mutat.

Két melléksorozat ismeretes, a melyek tripletekből állanak, éppen úgy, mint a magnéziumnál. Az első melléksorozat a másodiktól különösen abban különbözik, hogy a tripletek első vonala maga is ugyancsak három, egymáshoz igen közel levő vonalból van összetéve, a második vonal kettős, a harmadik pedig egyszerű. Nagyon messze vezetne, ha itt fel akarnók sorolni azokat a különös viszonyokat, melyek a tripletek összetevőinek rezgéseiben mutatkoznak. A kalcium színképének két legerősebb vonala, — a mely az ibolya határán  $\lambda$  3969-nél és  $\lambda$  3934-nél látható és a mely a Napszínképnek *H* és *K*-val jelzett két legerősebb vonalával azonos — nem tartozik a két melléksorozathoz. Úgy látszik azonban, hogy más vonalpárokkal állanak törvényszerű összefüggésben, a mint ez a színképnek a mágneses térben való viselkedéséből következik. Az ibolya vonalpár egyébiránt már a legcsekélyebb kalciumgőznyomoknál is mutatkozik és ezért ennek a fémnek rendkívül finom színképi reagenseként szerepel.

18. *Strontium* (Sr). Atómsúlya 88; szilárd; fajsúlya 2·54; olvadáspontja  $800^{\circ}$ , forráspontja bizonytalan. Szikraszínképében 40, ívfényszínképében 80 vonal ismeretes. Színképében nagyobb számú triplet van, a melyek közül 12 tartozik a melléksorozatokhoz. E sorozatok elsejében a kalciumhoz hasonlóan bonyo-



lultabb szerkezetű tripleteket találunk. A világító strontiumgőz élénk vörös színű.

19. *Baryum (Ba)*. Atómsúlya 137; szilárd; fajsúlya 3.75; olvadáspontja  $850^{\circ}$ ; forráspontja bizonytalan. Szikraszínképében 100, ívfényszínképében 145 vonal ismeretes. Bár nagyszámú vonal ismeretes, eddig még nem sikerült színképében törvényszerűségeket bizonyossággal megállapítani. Van néhány triplet; ezeknek viselkedése a mágneses térben oly összefüggésekre enged következtetni, a melyek talán megegyeznek a magnézium, réz és strontiumnál észlelhető vonatkozásokkal. A világító baryumgőz élénk zöldszínű.

20. *Rádium (Ra)*. Atómsúlya 226 (?). Az eddig tisztán még elő nem állított elem többi tulajdonsága még nem ismeretes, kivéve érdekes sugárzását és emanációit. RUNGE és PRECHT szerint a rádium szikraszínképe  $\lambda 5810$  és  $\lambda 2710$  között 40 vonalat mutat. Az említett két kutató három vonalpárt talált a színképben, melyek egy fő és két melléksorozathoz tartoznak.

A 3a. csoport színképeinek néhány törvényszerűségét már az egyes elemek tárgyalásánál említettük, de a legfontosabb törvényszerűségeket RUNGE fedezte fel újabban. T. i. a magnézium, kalcium, strontium és baryumnál a három vonalpár összetevőinek rezgésszámai között a különbségek állandók, de minden egyes elemnél ez a különbség a növekvő atómsúlylyal együtt nő, a mint ezt a következő összeállítás mutatja.

Elem	Atómsúly	Rezgés- különbség
<i>Mg</i>	24	92
<i>Ca</i>	40	223
<i>Sr</i>	88	801
<i>Ba</i>	137	1691

Az összetevők egymástól való távolságának növekedése szigorú szabályossággal megy végbe, a mint az már az alkalis fémeknél kiderült, a melyeknél az atómsúlyok négyzetei a távolságokkal egyenesen arányosak. Más elemeknél nem a második, hanem a harmadik vagy negyedik hatvány szerepel. RUNGE szerint azon-

ban mindenesetre mint egészen általános törvényt lehet kimondani a következőt: Kémiai rokonságban levő elemek minden csoportjában az atomsúlyok valamelyik hatványa arányos a vonalpárok összetevőinek egymástól való távolságával.

E tétel alapján RUNGE és PRECHT megkísérelték, hogy a rádiumnál talált összetevő-távolságokból kiszámítsák ennek az elemnek az atomsúlyát. Ezen az úton a 258 értéket találták a kémiai módszerekkel megállapított 226 helyett. Ezidőszerint még nem lehet eldönteni, hogy melyik méréseredmény megbízhatóbb. Ha kitűnnék, hogy a 258 érték a helyes,\*) akkor a rádium az elemek természetes rendszerében megtartaná ugyan helyét a 3. csoportban, de két sorral lejjebb vándorolna, minek következtében más-helyütt új kitöltetlen hézagok támadnának.

---

*3b. csoport.* Zincum, kadmium, higany.

E csoport színképei teljesen hasonló szerkezetűek, mint a 3a. csoportéi, a miért csak néhány adat közlésére szorítkozunk.

21. *Zincum (Zn).* Atomsúlya 65; szilárd; fajsúlya 7.1; olvadáspontja  $419^{\circ}$ ; forráspontja  $918^{\circ}$ . Szikraszínképében 108, ívfényszínképében 73 vonalat észleltek. Közülök több vonalat tripletekből álló két melléksorozatba lehet csoportosítani.

22. *Kadmium (Cd).* Atomsúlya 112; szilárd; fajsúlya 8.64; olvadáspontja  $320^{\circ}$ ; forráspontja  $770^{\circ}$ . Szikraszínképében 113, ívfényszínképében 70 vonal van. Tripletekből két melléksorozat van.

23. *Higany (Hg).* Atomsúlya 200; cseppfolyós; fajsúlya 13.55; olvadáspontja  $-39^{\circ}$ ; forráspontja  $357^{\circ}$ . Szikraszínképében 94, ívfényszínképében 58 vonal van. Tripletekből két melléksorozat mutatkozik, de ezek még bonyolultabbak, mint az előbb említett elemeknél, mert 4, 3 és 2 összetevőre bomlanak.

---

*4a. csoport.* Bór, aluminium, scandium, yttrium, lanthanium, ytterbium.

24. *Bór (Bo).* Atomsúlya 11; szilárd; fajsúlya 2.5 (?); olvadáspontja és forráspontja igen magas. Szikraszínképében

---

\*) Jelenleg a 226 értéket fogadják el.



3 vonalat észleltek. Ívfényszínképében csupán 2 vonalat lehetett biztonsággal megállapítani, még pedig az ibolyántúli részben.

25. *Aluminium (Al)*. Atómsúlya 27; szilárd; fajsúlya 2·60; olvadáspontja 658; forráspontja 1800<sup>0</sup>-nál magasabb. Szikraszínképében 105, ívfényszínképében 46 vonalat észleltek. Két melléksorozat ismeretes, a melyek azonban csak  $\lambda$  3960-nál kezdődnek; az ívfényszínkép látható részében nincsenek vonalak, a szikraszínkép látható részében ellenben sok vonal van.

26. *Scandium (Sc)*. Atómsúlya 44; fajsúlya?; olvadáspontja?; forráspontja? Szikraszínképében 131, ívfényszínképében 110 vonalat észleltek.

27. *Yttrium (Y)*. Atómsúlya 89; fajsúlya 3·8; olvadáspontja?; forráspontja? Szikraszínképében 194, ívfényszínképében 555 vonal van.

28. *Lanthanium (La)*. Atómsúlya 138; fajsúlya 6·15; olvadáspontja 810<sup>0</sup>; forráspontja? ROWLAND és HARRISON megfigyelései szerint szikraszínképében 215, ívfényszínképében 120 vonal van.

29. *Ytterbium (Yb)*. Atómsúlya 172; szilárd; fajsúlya?; olvadáspontja?; forráspontja? Szikraszínképében 897, ívfényszínképében 521 vonal van.

E csoportra jellemző a vonalszámnak az atómsúlylyal kapcsolatos szabályos növekedése.

---

4b. csoport. Gallium, indium, thallium.

30. *Gallium (Ga)*. Atómsúlya 70; szilárd; fajsúlya 5·95; olvadáspontja 30<sup>0</sup>; forráspontja? Szikraszínképében 14, ívfényszínképében 2 vonal van.

31. *Indium (In)*. Atómsúlya 115; szilárd; fajsúlya 7·2; olvadáspontja 155<sup>0</sup>; forráspontja vörösszáznál. Szikraszínképében 30, ívfényszínképében 38 vonalat észleltek, de ezek csak a kék részben kezdenek jelentkezni. Kettős vonalakból (dublettek) álló két melléksorozatot találtak, de a kettős vonalak közül néhány esetben csak az egyik összetevőt figyelték meg. Az első melléksorozat első vonalpárjától, a rendkívül erős  $\lambda$  4511 és  $\lambda$  4102 vonaltól származik az indium gőzének gyönyörű kék színe.

32. *Thallium (Tl)*. Atómsúlya 204; szilárd; fajsúlya 11·85; olvadáspontja  $301^0$ ; forráspontja 1300 és  $1600^0$  között. Szikraszínképe 16, ívfényszínképe 49 vonalból áll. Itt is két melléksorozat ismeretes. A  $\lambda$  5351-nél levő vonal adja a thallium gőzének jellemző zöld színét.

Erre a csoportra jellemző a kevés számú vonal, a melyeknek száma éppenúgy, mint az olvadáspont, az atómsúlylyal együtt növekszik.

5a. csoport. Titanium, zirkonium, cerium, thorium.

33. *Titanium (Ti)*. Atómsúlya 48; szilárd; fajsúlya 4·5; olvadáspontja  $1800^0$ ; forráspontja bizonytalan. Szikraszínképében 1337, ívfényszínképében a  $\lambda$  5900-tól  $\lambda$  3480-ig terjedő közben (HASSELBERG szerint) 730 vonal van. A vonalak több jellemző csoportot alkotnak. Törvényszerűségek nem ismeretesek.

34. *Zirkonium (Zr)*. Atómsúlya 91; fajsúlya 6·4; olvadáspontja  $1300^0$ -nál magasabb; forráspontja bizonytalan. Szikraszínképében 1424 vonalat észleltek, ívfényszínképében pedig ROWLAND és TATNALL 170 vonalat figyelt meg. Törvényszerűségek nem ismeretesek.

35. *Cerium (Ce)*. Atómsúlya 140; szilárd; fajsúlya 6·68; olvadáspontja  $623^0$ ; forráspontja bizonytalan. Szikraszínképében 1300 vonalat figyelt meg. Ívfényszínképét újabb időben úgylátszik nem vizsgálta. Törvényszerűségek nem ismeretesek.

36. *Thorium (Th)*. Atómsúlya 232; fajsúlya 11; olvadáspontja  $1690^0$ ; forráspontja kérdéses. Szikraszínképében 2070 vonal van. Színképéről egyebet nem tudunk.

E csoport színképei vonalakban igen gazdagok. Rendkívül nehéz és időrabló ilyen színképekben a vonalak közötti összefüggéseket keresni.

5b. csoport. Szén, silícium, germanium, ón, ólom.

37. *Szén (C)* (carbonium). Atómsúlya 12; három allotróp módosulatban fordul elő:

1. Gyémánt; szilárd; fajsúlya 3·5; olvadáspontja: eddig még nem sikerült megolvasztani; forráspontja bizonytalan.



2. Grafit; szilárd; fajsúlya 2·2; olvadáspontja: eddig még nem sikerült megolvasztani; forráspontja bizonytalan.

3. Alaktalan (amorf) szén; szilárd; fajsúlya 1·8; olvadáspontja: nem olvasztható; forráspontját 3600<sup>0</sup>-nyinak számították ki. Szikraszínképében 13, ívfényszínképében 58 vonalat észleltek. Bizonyos szénvegyületeknek, minők a szénhidrogének, széndioxid és czián, jellegzetes szalagszínképük van, a melyről alább lesz szó.

38. *Silicium (Si)*. Atómsúlya 28. Két allotróp módosulatban fordul elő.

1. Alaktalan (amorf); fajsúlya 2·35.

2. Kristályos; fajsúlya 2·39; olvadáspontja 1400<sup>0</sup> és 1500<sup>0</sup> között van; forráspontja bizonytalan. Szikraszínképében 44 vonalat számláltak.

39. *Germanium (Ge)*. Atómsúlya 72; szilárd; fajsúlya 5·47; olvadáspontja 950<sup>0</sup>; forráspontja bizonytalan. Szikraszínképében 62 vonalat észleltek. Ívfényszínképében ROWLAND és TATNALL 27 vonalat figyelt meg.

40. *Ón (Sn)* (stannum). Atómsúlya 119; szilárd; fajsúlya 7·29; olvadáspontja 232<sup>0</sup>; forráspontja 1900<sup>0</sup>—2000<sup>0</sup> között. Szikraszínképében 87, ívfényszínképében 73 vonal van. Az ón színképében nem találtak ugyan sorozatokat, de a vonalak között más törvényszerűségek vannak, a melyeknek tulajdonképpen alakja eddig még nem ismeretes. Tudniillik egymástól messze eső vonalaknak egész sora a következő módon van egymással kapcsolatban (KAYSER és RUNGE szerint). Ha az egyik sor rezgészámaihoz az 5187·03 állandó számot adjuk, akkor a színképben levő vonalak második sorát kapjuk; ha 6923·26-ot adunk ugyanazokhoz a vonalakhoz, akkor egy harmadik sor vonalait kapjuk. KAYSER és RUNGE ilyen módon az első sor 13 vonalából a második sor 13 vonalát és a harmadik sor 8 vonalát tudta nagy pontossággal előállítani.

41. *Ólom (Pb)* (plumbum). Atómsúlya 207; szilárd; fajsúlya 11·34; olvadáspontja 330<sup>0</sup>; forráspontja 1450<sup>0</sup> és 1600<sup>0</sup> között. Szikraszínképében 74, ívfényszínképében 54 vonal ismeretes. Az ólom színképében a vonalak között hasonló összefüggéseket találunk, mint az ónéban; a két állandó itt 10810·81 és 13642·81. Az első és második sor vonalainak száma 10, a harmadik soré azonban csak 4.

6a. csoport. Vanadium, niobium, praseodymium, tantalium.

42. *Vanadium (Va)*. Atómsúlya 51; szilárd; fajsúlya 5·5; olvadáspontja  $1680^{\circ}$ ; forráspontja ismeretlen. Szikraszínképében 2265 vonal van. Ívfényszínképében HASSELBERG 900 vonalat mért meg  $\lambda 5850$  és  $\lambda 3490$  között. Törvényszerűségeket nem ismerünk.

43. *Niobium (Nb)*. Atómsúlya 94; szilárd; fajsúlya 7·2; olvadáspontja  $1950^{\circ}$ ; forráspontja ismeretlen. Szikraszínképében 1606 vonal van. Színképéről egyebet nem tudunk.

44. *Praseodymium (Pr)*. Atómsúlya 142; szilárd; fajsúlya 6·48; olvadáspontja  $940^{\circ}$ ; forráspontja bizonytalan. Szikraszínképében 1526 vonal ismeretes.

45. *Tantalium (Ta)*. Atómsúlya 181; fajsúlya 16·6; olvadáspontja  $2850^{\circ}$ ; forráspontja ismeretlen. Szikraszínképében 1213 vonalat számláltak.

6b. csoport. Nitrogén, foszfor, arzén, antimon, holmium, bizmut.

46. *Nitrogén (N)*. Atómsúlya 14; gáznemű; fajsúlya 0·97; olvadáspontja  $-211^{\circ}$ ; forráspontja  $-196^{\circ}$ . GEISSLER-féle csőben a nitrogén leydeni-palaczk bekapcsolásával vonalas színképet ad, leydeni-palaczk nélkül szalagos színképet. Az utóbbiról alább lesz szó. Szikraszínképében 89 vonalat mértek meg.

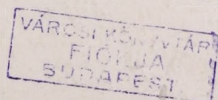
47. *Foszfor (P)*. Atómsúlya 31. Két allotróp módosulatban fordul elő:

1. Sárga foszfor; szilárd; fajsúlya 1·83; olvadáspontja  $44^{\circ}$ ; forráspontja  $290^{\circ}$ .

2. Vörös, alakatlan foszfor; szilárd; fajsúlya 2·11.

A foszfor színképében eddig még nem észleltek vonalakat.

48. *Arzén (As)*. Atómsúlya 75; három vagy négy allotróp módosulatban fordul elő. Kristályos; fajsúlya 5·73; olvadáspontja  $358^{\circ}$ ; forráspontja  $450^{\circ}$ . Szikraszínképében 44 vonalat észleltek, ívfényszínképében 35-öt. Az ívfényszínkép látható részében vonal nem fordul elő. Az arzén színképe éppen olyan vonatkozásokat mutat, mint az ón színképe. KAYSER és RUNGE az első és második sorban 8—8 vonalat találtak, melyeknél a rezgésszámok közötti állandó különbség  $461\cdot36$ ; a harmadik sor négy vonalánál  $8057\cdot95$  a különbség az első sor rezgésszámaihoz viszonyítva.





49. *Antimon (Sb)* (stibium). Atómsúlya 120; szilárd; fajsúlya 6·6; olvadáspontja  $630^{\circ}$ ; forráspontja  $1450^{\circ}$ . Szikraszínképében 160, ívfényszínképében 70 vonal van. A két színkép nagyon különbözik egymástól. Az antimón színképében 6 vonalsorozat van kapcsolatban egymással állandó rezgésszámkülönbségek által. E sorok közül az első és második 12–12 vonalat számlál, a harmadik és negyedik 5–5-öt, a két utolsó 2–2 vonalat.

50. *Holmium (Ho)*. Fizikai tulajdonságai még nem ismertek. Szikraszínképében 1905 vonal van.

51. *Bizmut (Bi)*. Atómsúlya 208; szilárd; fajsúlya 9·82; olvadáspontja  $269^{\circ}$ ; forráspontja  $1450^{\circ}$ . Szikraszínképében 198, ívfényszínképében 76 vonal ismeretes. Itt is a két színkép nagyon különbözik egymástól. A bizmut színképében a sorozatok közt mutatkozó vonatkozások hasonlóak azokhoz, melyeket az arzénél és az antimonnál említettünk. Négy sor ismeretes. Az első és második sorban 8–8 vonal van, a harmadikban 6, a negyedikben 3. A első sorozat négy első vonala szűk kettős vonal.

7a. csoport. Króm, molybden, neodýmium, wolfram, uranium.

52. *Króm (Cr)*. Atómsúlya 52; szilárd; fajsúlya 6·7; olvadáspontja  $1515^{\circ}$ ; forráspontja  $2000^{\circ}$ . A króm már szorosan csatlakozik a vascsoporthoz amaz elemeihez, a melyek ugyanehhez a periódushoz tartoznak. Szikraszínképében 1572 vonalat észleltek. Ívfényszínképében HASSELBERG  $\lambda$  5800 és  $\lambda$  3430 között 760 vonalat mért meg.

53. *Molybden (Mo)*. Atómsúlya 96; szilárd; fajsúlya 9·0; olvadáspontja  $2550^{\circ}$ ; forráspontja ismeretlen. Szikraszínképében 2674 vonal van; ívfényszínképében pedig HASSELBERG szerint  $\lambda$  5890 és  $\lambda$  3460 között 1150 vonal állapítható meg.

54. *Neodýmium (Nd)*. Atómsúlya 144; szilárd; fajsúlya 6·96; olvadáspontja  $840^{\circ}$ ; forráspontja ismeretlen. Szikraszínképében 2014 vonalat számláltak.

55. *Wolfram (W)*. Atómsúlya 184; szilárd; fajsúlya 19·1; olvadáspontja  $3000^{\circ}$ ; forráspontja ismeretlen. Szikraszínképében 3021 vonal van. Ívfényszínképében HASSELBERG 1080 vonalat mért meg  $\lambda$  5890 és  $\lambda$  3480 között.

56. *Uranium (U)*. Atómsúlya 238; szilárd; fajsúlya 18'69; olvadáspontja a vörös izzásnál van; forráspontja ismeretlen. Szikraszínképében 5270 vonal van.

A fémek e csoportjának színképeire jellemző a vonalakban való rendkívüli gazdagság, mely a krómnál 1572 vonallal kezdődik és az atómsúlylyal növekedve az uraniumnál 5270-re emelkedik. Az uraniumnak van valamennyi ismert elem között a legnagyobb vonalszáma.

7b. csoport. Oxigén, kén, szelén, tellúr, erbium.

57. *Oxigén (O)*. Atómsúlya 16; gáznemű; fajsúlya 1'11; olvadáspontja  $-227^{\circ}$ ; forráspontja  $-183^{\circ}$ . Az oxigénnek két különböző vonalas színképe van, a melyek közül az egyikben sorozatok jelentkeznek. Ezeken kívül még három különböző szalagos színképe is van. Az oxigén ozon módosulatának ismét saját külön színképe van, úgy, hogy eddig hét különböző oxigén-színkép ismeretes. Szalagos színképéről később még szólni fogunk.

A szikraszínképben 104 vonalat észleltek. Ha GEISSLER-féle csövön át erősebb kisüléseket bocsátunk, akkor oly vonalas színkép keletkezik, melyben még nem találtak törvényszerűségeket. Ha pedig a kisülések gyöngébbek, akkor másféle vonalas színkép létesül, a melyben RUNGE és PASCHEN kettős és hármas vonalaknak két sorozatát ismerte föl.

58. *Kén (S)* (sulphur). Atómsúlya 32. Többféle allotróp módosulata ismeretes, melyek a hőmérséklettől függnnek. Fajsúly 1'9 és 2'1 között; olvadáspont  $115^{\circ}$ ; forráspont  $445^{\circ}$ . A kénnek három különböző színképe van: egy szalagos és két vonalas, a mely utóbbiak közül az egyik sorozatokra oszlik. Szikraszínképében nem észleltek vonalat. A GEISSLER-féle csőben rendszeren a szalagszínkép jelentkezik. De ha leydeni-palaczkokat kapcsolunk közbe, akkor vonalszínkép keletkezik. Valamennyi szalagszínkép között a kén szalagszínképe leggazdagabb vonalakban. EDER és VALENTA a világoskéktől a  $\lambda$  3600-ig terjedő rövid közben 10000 vonalat mért meg. A vonalas színképben  $\lambda$  6400 és  $\lambda$  3300 között 240 vonalat mérték meg. RUNGE és PASCHEN a vonalas színképben két melléksorozatot talált.



59. *Szelén (Se)*. Atómsúlya 79; három allotróp módosulatban fordul elő, a melyek közül az egyik folyékony, a másik kettő szilárd, amorf és fémszerű; fajsúlya 4·3 és 4·8 között; olvadáspontja  $217^{\circ}$ ; forráspontja  $690^{\circ}$ . Szikraszínképében nem észleltek vonalat. A GEISSLER-féle cső vonalas színképében RUNGE és PASCHEN két melléksorozatot talált, a melyek elsejében bonyolultabb szerkezetű tripletek vannak.

60. *Tellúr (Te)*. Atómsúlya 127; szilárd; fajsúlya 6·25; olvadáspontja  $446^{\circ}$ ; forráspontja  $1390^{\circ}$ . Szikraszínképében 79 vonal van

61. *Erbium (Er)*. Atómsúlya 166. Ezen elem fizikai tulajdonságai még ismeretlenek. Szikraszínképében 1508 vonalat számláltak.

Az e csoporthoz tartozó elemek színképi tulajdonságai mindenestre rendkívül bonyolódott természetűek.

---

8a. csoport. Mangán, samarium.

62. *Mangán (Mn)*. Atómsúlya 55; szilárd; fajsúlya 7·39; olvadáspontja  $1245^{\circ}$ ; forráspontja  $1900^{\circ}$ . Szikraszínképében 1152 vonal van. Az ívényszínképben HASSELBERG  $\lambda 8850$  és  $\lambda 3460$  között 348 vonalat mért. A színképben feltűnő tripletek vannak, melyek ugyanazon a helyen végződő két melléksorozatba foglalhatók. Még nem vizsgálták meg, hogy a színképben egyéb törvényszerűségek is vannak-e.

63. *Samarium (Sa)*. Atómsúlya 150; szilárd; fajsúlya 7·8; olvadáspontja?; forráspontja? Szikraszínképében 976 vonalat észleltek.

---

8b. csoport. Fluor, klór, bróm, jód, thulium.

64. *Fluor (Fl)*. Atómsúlya 19; gáznemű; fajsúlya 1·26; olvadáspontja —  $223^{\circ}$ ; forráspontja —  $187^{\circ}$ . Színképében nem észleltek vonalakat.

65. *Klór (Cl)*. Atómsúlya 35; gáznemű; fajsúlya 2·49; olvadáspontja —  $102^{\circ}$ ; forráspontja —  $34^{\circ}$ . A klór szikraszínképében 11 vonal van. EDER és VALENTA megfigyelései szerint a GEISSLER-féle csőben a klór színképében mintegy 200 vonal van  $\lambda 5670$  és  $\lambda 3280$  között.

66. *Bróm (Br)*. Atómsúlya 80; folyékony; fajsúlya 3·15; olvadáspontja  $-7^{\circ}$ ; forráspontja  $59^{\circ}$ . Szikraszínképében nem találtak vonalakat. EDER és VALENTA a GEISSLER-féle cső segítségével előállított színekben 120 vonalat mért meg  $\lambda 6680$  és  $\lambda 3890$  között. Ha leydeni-palaczkot kapcsolunk közbe, akkor a vonalas színek mellett szalagos színek is jelenik meg, mely sokban azonos a brómgőznek közönséges hőmérsékleten megfigyelhető elnyelési színekével.

67. *Jód (J)*. Atómsúlya 127; szilárd; fajsúlya 4·95; olvadáspontja  $113^{\circ}$ ; forráspontja  $184^{\circ}$ . Szikraszínképében nem észleltek vonalakat.

68. *Thulium (Tm)*. Fizikai sajátságai ismeretlenek. Szikraszínképében 237 vonalat észleltek.

---

9. csoport. III. *periodus*. Vas, nikkell, kobalt.

69. *Vas (Fe)* (ferrum). Atómsúlya 56; szilárd; fajsúlya 7·86; olvadáspontja  $1510^{\circ}$ ; forráspontja  $2450^{\circ}$ . Szikraszínképében 1517 vonalat észleltek. Ívfényszínekében tetemesen több vonal van, de valószínű, hogy közülök néhány nem a vashoz tartozik. Törvényszerűségekről közelebbit nem tudunk, de van számos szűk kettős vonal.

70. *Nikkel (Ni)*. Atómsúlya 59; szilárd; fajsúlya 8·9; olvadáspontja  $1452^{\circ}$ ; forráspontja ismeretlen. Szikraszínképében 503 vonal van. Ívfényszínekében HASSELBERG 352 vonalat állapított meg  $\lambda 5890$  és  $\lambda 3480$  között.

71. *Kobalt (Co)*. Atómsúlya 59; szilárd; fajsúlya 8·6; olvadáspontja  $1490^{\circ}$ ; forráspontja ismeretlen. Szikraszínképében 1295 vonal van. Ívfényszínekében HASSELBERG szerint  $\lambda 5530$  és  $\lambda 3470$  között 610 vonal állapítható meg.

---

9. csoport. V. *periodus*. Ruthenium, rhodium, palladium, melyeket a X. *periodus* elemeivel együtt platinafémeknek nevezünk.

72. *Ruthenium (Ru)*. Atómsúlya 102; szilárd; fajsúlya 12·26; olvadáspontja  $1950^{\circ}$ ; forráspontja ismeretlen. Szikraszínképében 1575, ívfényszínekében 1933 vonal van.



73. *Rhodium (Rh)*. Atómsúlya 102; szilárd; fajsúlya 12.1; olvadáspontja 2000°; forráspontja ismeretlen. Szikraszínképében 855 vonalat észleltek, ívfényszínképében pedig 1470-et. SNYDER szerint ebben a színképben nagyszámú vonalsorozatot lehet alakítani, hasonlóan, mint az arzénél és más elemeknél; itt vagy egy 54 vonalas csoport 19-szer ismétlődik, vagy pedig egy 19 vonalas csoport 54-szer.

74. *Palladium (Pd)*. Atómsúlya 107; szilárd; fajsúlya 11.4; olvadáspontja 1550°; forráspontja ismeretlen. Szikraszínképében 517, ívfényszínképében 283 vonal van. Itt hasonló vonatkozásokra akadtak, mint a rhodiumnál, bár még csak hézagosan. Ez érvényes valamennyi többi platinafémre is.

9. csoport. VII. periodus. Europium, gadolinium.

75. *Europium (Eu)*. Atómsúlya 152; egyéb fizikai sajátosságai még ismeretlenek. Szikraszínképében 1193 vonal van.

76. *Gadolinium (Ga)*. Atómsúlya 157; egyéb fizikai sajátosságai ismeretlenek. Szikraszínképében 1150 vonal van.

9. csoport. X. periodus. Ozmium, iridium, platina.

77. *Ozmium (Os)*. Atómsúlya 191; szilárd; fajsúlya 22.48; olvadáspontja 2500°; forráspontja ismeretlen. Szikraszínképében 838 vonalat találtak, ívfényszínképében 1220-at.

78. *Iridium (Ir)*. Atómsúlya 193; szilárd; fajsúlya 22.42; olvadáspontja 2300°; forráspontja ismeretlen. Szikraszínképében 1380, ívfényszínképében 956 vonal van.

79. *Platina (Pt)*. Atómsúlya 195; szilárd; fajsúlya 21.50; olvadáspontja 1750°; forráspontja ismeretlen. Szikraszínképében 580 vonalat számláltak, ívfényszínképében 567-et.

Miként már említettük, mind a 6 platinafémnél a vonalak között valószínűleg hasonló vonatkozások vannak, mint a melyeket a rhodiumnál valóban megállapítottak.

A szalag- vagy sávszínűképek. Néhány elemnek és számos chemiai vegyületnek oly színképe van, a melyben a vonalak igen jellemző csoportokba rendeződtek, úgy hogy első tekintetre fel-

ismerhető a szabályszerű eloszlás. Az ilyféle színeképeket szalag- vagy sávszíneképeknek szokás nevezni, mert csekély diszperzió mellett az egyes vonalakat nem lehet többé egymástól megkülönböztetni, minthogy széles, többnyire egyoldalúan elmosódott szalagokba vagy sávokba folynak össze.

Bár a vonalak elrendeződésében azonnal felismerhető valamely törvényszerűség, azért mégis igen sokáig tartott, míg csak közelítő matematikai kifejezést is sikerült találni. Itt még nem ismerünk olyanféle, a valósággal egyező törvényt, mint a vonalas színeképeknél.

A szalagos színekép jellemző szerkezetét a 72. rajz mutatja. Ez ú. n. rovátkás szalagszínekép, mert minden főszalag néhány mellékszalagból tevődik össze, melyek valamennyien ugyanazon oldal felé elmosódottak, a mi azután ferdén megvilágított mélye-



72. rajz.

dések benyomását kelti, mint valami rovátkás oszlopnál. A mellékszalagok szélei az elmosódottság oldala felé mindinkább szűkebbre szorulnak össze. A mellékszalagok száma minden következő sávban egygyel fogy és azonkívül az egyes fősávok közti távolság is csökken ebben az arányban. Valamely fő- vagy melléksávon belül erős diszperzióval fölismerhető a vonalak csoportosulása és akkor láthatjuk, hogy a szélekből két vonalsorozat indul ki, úgy hogy kettős vonalak keletkeznek növekvő egymásközi távolsággal. Valójában a dolog menete rendszerint nem ilyen egyszerű, mert oly vonalak és vonalcsoportok jelennek meg, melyek látszólag nem illenek a törvényszerű eloszlásba. Erre vonatkozó példát a 73. rajzban mutatunk be, mely az oxigénnek két elnyelési sávját ábrázolja. Ez a két sáv a Nap színeképének vörös részében fekszik; FRAUNHOFER *A*-val és *B*-vel jelölte őket.

DESLANDRES ezekben a szalagokban a törvényszerűségeknek egész sorát találta, a melyek közelítőleg érvényesek, a nélkül, hogy természeti törvény voltukat állíthatnók.



1. Valamely sáv egymásra következő vonalainak rezgésszámai, az élesen látszó széltől kezdődően, számtani haladványt alkotnak. Rendesen *egy* széltől több ily sorozat indul ki.

2. A mellékszalagok széleinek rezgésszámait egymás között ugyanez a törvény kapcsolja össze.

A DESLANDRES-től talált többi törvényszerűségek még nincsenek a kellő biztonsággal megállapítva. Csak még azt említjük meg, hogy a különböző sávok széleinek rezgésszámai között a



A-csoport.



73. rajz. — B-csoport.

különbség úgy látszik közel állandó, a mely esetben úgy következne egymásra, mint a hangtanban valamely hosszanti irányban rezgő pálca felhangjai.

THIELE nagyon bonyolult vizsgálatokat végzett abból a célból, hogy a vonaloknak elosztódását a sávokban megismerje. A tőle alapul vett matematikai kifejezés azt követeli, hogy valamely sáv ne lassanként mosódjon el, hanem hogy bizonyos maximális vonaltávolság elérése után a vonalak ismét közelebb sorakozzanak egymáshoz és hogy végül ismét élt alkossanak. Rendesen azonban ezt a folytatódást fénygyengesség, vagy más sávokkal való egybeesés miatt nem lehet megfigyelni. A czián színeképében valóban találtak ilyen fordított sorrendet mutató sávokat.

## HARMADIK SZAKASZ.

# A FOTOMÉTRIA.

A fotométria azt a feladatot tárgyalja, hogyan lehet két tárgy fényességének egymáshoz viszonyított erejét számszerűen megállapítani. Ennél az általános feladatnál csak fehér, vagy közel fehér fény fényerejének összehasonlítása kerül szóba. A fotométriának egyik különös ága, a színeképfotométria (spektrálfotométria) foglalkozik annak a másik feladatnak a megoldásával, hogyan lehet az erősen színes, csak bizonyos hullámhosszúságú sugarakat tartalmazó fényt intenzitásra nézve összehasonlítani.

Jóval a tudományos fotométria léte előtt, sőt még mielőtt a fotométria alapjai ismeretesebbek lettek, végeztek már fotométriai méréseket az égen, a mennyiben a feltűnőbb állócsillagok fényességét bizonyos skála szerint állapították meg. Bár később LAMBERT a XVIII. század közepén mintaszerűen megalapozta az elméleti fotométriát, azért mégis csak az utolsó évtizedekben kezdték e tant rendszeresen és sikeresen alkalmazni a csillagos égre.

A fotométriának jól érthető kifejtése csak úgy lehetséges, ha elméleti alapjai ismeretesebbek, mert a fotométerek szerkezete és alkalmazása teljesen ezeken az ismereteken alapszik. Ezért itt, ellentétben a színeképelemzéssel, az elméleti részt kell előbb tárgyalnunk.

## KILENCZEDIK FEJEZET.

# A fotométriai elméletek.

Az emberi szem a fényerősségek közötti különbségeket, ha a fényességek bizonyos határokon belül fekszenek, élesen tudja észrevenni. A felső határt a vakítás beállta szabja meg. Szemének komoly veszélyeztetése nélkül senki sem tud közvetlenül a Napba vagy az elektromos ívfénybe nézni. Ilyenkor az utóképek



jelensége azonnal és a legintenzívebb módon jelentkezik (I. Első szakasz, 63. oldal), a mi azután a látást hosszabb időre lehetetlenné teszi. Ha viszont a fényerősség bizonyos érték alá süllyed, akkor a szem belsejének fiziológiai világossága hiúsítja meg a pontos látást és meglehetősen bonyolulttá válnak a viszonyok, melyekről más helyen fogunk részleteket elmondani. Ha mást nem említünk, akkor a következőkben mindig azt fogjuk fölteni, hogy a megfigyelendő fényerősségek e két határon belül fekszenek, hogy tehát a szemnek kényelmes fényerősségekről van szó.

Bár a szem fényerősségbeli különbségeket jól tud észrevenni, azért mégsem mérőeszköz; a fényerősségek viszonyát *számokban* szemünk segítségével nem tudjuk kifejezni. Azt pl. nagyon jól észrevevesszük, hogy az elektromos ívlámpa fénye sokkal erősebb, mint a gyertyaé, de azt, hogy százszorta vagy ezerszerre fényesebb-e, nem tudjuk megmondani. Sőt — miként már említettük — a szemnek védőberendezése van, a mely, ha nem alkalmazunk különös elővigyázati szabályokat, egyenesen csalódásba ejt a különböző fényerősség megítélésében. Ilyen védőberendezés a szivárványhártyának az a képessége, a melylyel a szembogár (pupilla) nyílását az akarattól függetlenül nagyobbítani vagy kisebbiteni tudja. A szembogár nyílása legnagyobb (mintegy 8 mm. átmérőjű), ha sötétben vagyunk és szemünk jól ki van pihenve. Ha fény jut a szembe, a szembogár nyílása a látóideget érő inger hatása következtében automatikusan (reflexmozgás útján) kisebbedik, még pedig annál erősebben, mennél erősebb a behatoló fény. Az összehúzódás következtében a szembogár egészen 1 mm átmérőjű kis nyílásra szorulhat össze, úgy hogy akkor a fénynek már csak 64-ed része ér a szembe, viszonyítva a valamely nagyon gyöngye fényforrásból kiinduló fényhez. A két fényesség közötti ellentét tehát látszólag 64-szeresen kisebbedett.

Csak egyetlen, egészen különleges esetben képes a szem a fényerősségek viszonyát megmérni, t. i. csak akkor, ha az összehasonlítható fényességek egymással egyenlők. Különösen kedvező körülmények között a szem egy százalékra pontosan tudja megítélni két fényerősség egyenlőségét, azaz még éppen fel tudja ismerni, hogy valamely felület, melynek fényessége 100, valamivel világosabb, mint az, a melynek fényessége 99. Ebben

az egy esetben a szem mint mérőeszköz szerepel és ezért a fotométria legfőbb alapelve a következő:

*A fényerősségek közti viszonyok mérésére való műszereknek kivétel nélkül úgy kell szerkesztve lenniök, hogy bennük két tárgy különböző fényességét mérhető módon egyenlővé lehessen változtatni.*

Csak ha ez az alapelv megvalósult, érvényesülhet a szem mérőképessége. De az, hogy ezután a fényerősségek egyenlőségének megbecsülése helyes-e, többféle tényezőtől függ, a melynek egyikére éppen az imént mutattunk reá. Ezt a körülményt talán alig lehet jobban kifejezni, mint a hogy azt LAMBERT már 1760-ban tette, ezért itt az ő szavait idézzük: »Ha a fotométriában valamely axióma egyáltalán érvényes, akkor ez bizonyára a következő, a melyet valamennyinek alapjául tekinthetünk: *Valamely jelenség ugyanaz, valahányszor ugyanazt a szemet ugyanaz az inger éri.* Ha ezt elfogadjuk, már pedig ennek valóságában alig kételkedhetünk, akkor ebből a tételből levezethetők azok a különféle tételek, a melyeknek segítségével a korábban említett tapasztalatok megvizsgálhatók«.

»Ahhoz, hogy t. i. azt mondhassuk, hogy a szem ugyanaz, szükséges, hogy a hely és az idő ugyanaz legyen, hogy továbbá a szembe jutó fény ereje és fényessége ugyanaz legyen, mert hiszen e kettőtől függ a szembogár nyílása. Ha ezek a föltételek nincsenek meg, akkor a szem ítélete a fény vagy a fényerősség egyenlő voltáról nem lesz olyan biztos, hogy nagyobb fokú biztosság ne lenne kívánatos.«

»Hasonló módon ahhoz, hogy a szemet ugyanaz az inger érje, szükséges, hogy a vizsgált tárgyak nagysága, távolsága, fényessége és kölcsönös helyzete ugyanaz legyen. Ezen elővigyázati rendszabályok betartásával a szemnek a képzelhető legnagyobb biztosságot biztosíthatjuk. Ha ezen a módon két, vagy több tárgyat megismerünk és úgy találjuk, hogy fényességük ugyanaz, akkor ez az ítéletünk biztos és helyes lesz. Legalább is erősen kétségbe kell vonnunk, hogy itt még nagyobb biztosság lehetséges.«

»Minthogy tehát a szem ítélete akkor helyes, ha a megítélés két, vagy több, egymás mellett levő tárgy fényességének egyenlőségére vonatkozik, ezért tovább is biztos úton halad-



hatunk és a többi bonyolultabb esetet erre az első és legegyszerűbb esetre vezethetjük vissza. Ez a körülmény akkor fog bekövetkezni, ha oly segédeszközöket találunk, melyek lehetővé teszik, hogy valamely tetszőleges fényerősséget oly módon növeljünk vagy csökkentsünk, hogy az valamely adott fényességgel egyenlő legyen. De előbb meg fogjuk vizsgálni, hogy mennyiben engedhető meg és mennyiben helyes a szem ítélete a tárgyak fényerejének *egyenlőtlenségéről*.«

»Tegyük fel, hogy a szem két egymás mellett levő világító tárgyat szemlél és hogy fényességüket különbözőnek találja. Akkor axiómánk alapján mindenesetre bizonyossággal azt következtethetjük, hogy vagy a szem nincsen ugyanabban az állapotban, vagy ha igen, akkor a két tárgy hat reá különbözőképpen. A mi a tárgyak helyzetét, nagyságát és távolságát illeti, a különbségeket ki lehet küszöbölni, úgy hogy egyedül a fényerősségben való különbözőség marad meg. Ha ily különbség van, akkor ennek következtében a szembogár nyílása egyszerűen megváltozhatik. Ha azonban a tárgyak oly közel vannak egymáshoz, hogy a szem *egy* pillantással átpillanthatja őket, akkor világos, hogy a szembogár összehúzódását *mind a két* tárgy fénye idézte elő. Minthogy most a szem nyílása mindkét tárgy számára ugyanaz, azért a szembe érkező sugarak mennyisége nem szenved változást és ezért a szem ítélete a fényerősség különböző voltáról mindenesetre helyes lesz.«

Most kissé pontosabban fogjuk meghatározni azokat a LAMBERT-féle föltételeket, melyeknek teljesedniök kell, hogy a fényerősség egyenlő voltát lehetőleg helyesen és pontosan megítélhessük.

1. Az *egyidejűség*. A két tárgy megszemlélése között nem szabad hosszabb időköznek eltelnie, mert különben semmisen biztosít arról, hogy a két esetben szemünk állapota ugyanaz volt. Ártalmas hatása van annak a körülménynek is, hogy emlékeztünk éppen a fényerősségek felfogásában nagyon csalóka. A két összehasonlítandó tárgyat pontosan egyidőben kell szemügyre venni, a mit úgy érhetünk el, hogy mind a kettőt oly közel helyezzük egymás mellé, hogy szögtávolságuk ne legyen nagyobb 40'—50'-nél. Ha ezt nem lehet elérni, akkor meg kell lennie legalább annak a lehetőségnek, hogy a szemet igen gyorsan és

gyakran lehessen egyik tárgyról a másikra fordítani, ilyenkor az egyik tárgy megsejmléléseinek közepe időbelileg egybe fog esni a másik tárgy megsejmléléseinek közepével.

Az egyidejűség föltétele tulajdonképpen magában foglalja már az egyhelyűség föltételét is.

2. *A szembe hatoló összfény egyenlősége.* Nem mindig lehetséges, sőt nem is kívánatos, hogy csupán csak az a fény kerüljön a szembe, a mely az összehasonlítandó tárgyakból indul ki. Előfordul, hogy észrevehető fényereje van a háttérnek, a melyre a szem a tárgyakat vetíti, vagy pedig különös körülmények szükségessé teszik, hogy megvilágított helyiségben észleljünk, a mikor tehát oldalfény is hatol a szembe. Mindezekben az esetekben igen gondosan kell ügyelnünk arra, hogy a két tárgynál az említett mellékfényre vonatkozóan egészen pontos egyenlőség uralkodjék. Nem szabad, hogy az egyik tárgynak sötét, a másiknak meg világos háttere legyen, és nem szabad, hogy az egyik tárgy szemlélésekor mellékfény jusson a szembe, míg a másiknál ez nem ugyanebben a mértékben történik. Máskülönben a két szemlélésnél a szem állapota nem ugyanaz, nevezetesen a szembogár nyílása nem egyenlő. Különben lehetséges úgy készíteni a fotométert, hogy az utóbbi hiba nem torzítja a megfigyeléseket. Ehhez csak az szükséges, hogy a fotométerből kilépő fénynyaláb átmérőjét kisebbre szabjuk a legkisebb előforduló szembogár-átmérőnél. Sokat ezzel ugyan nem nyerünk, mert nemcsak a szembogár húzódik össze, hanem a mellékfény is ingerli a szemet, a mely inger adott körülmények között nagyobb lehet, mint az összehúzódás következtében beálló fényvesztés.

3. *A nagyság és az alak egyenlősége.* Mennél hasonlóbba egymáshoz az összehasonlítandó tárgyak, annál pontosabban lehet a fényerősség egyenlőségét megítélni. Minden fotometriai mérésnél az elérendő eszmény oly két tárgy összehasonlítása, mely alakra és nagyságra egymással tökéletesen megegyezik: tehát pontot ponttal, vonalat vonallal, négyzetet egyenlő nagyságú négyzettel, kört egyenlő nagyságú körrel kell összehasonlítani, a mi mellett teljesíteni kell az 1. követelményt is, vagyis a két tárgyat lehetőleg közel kell állítani egymáshoz.

4. *A szín egyenlősége.* Minthogy LAMBERT fejtegetéseinél fehér fényt tett föl, azért az általános fejtegetésben a különböző színek



hatása a fényegyenlőség megítélésére nem is került szóba. Pedig ez a körülmény is nagyon fontos. A fényerősség egyenlőségének megítélése már akkor is nagyon meg van nehezítve, ha a két tárgy színárnyalatai csak nagyon kevésbé különböznek egymástól; nagyobb különbségeknél majdnem teljesen kétségesse válik és egészen különös gyakorlottság kell hozzá, hogy két különböző színű, pl. kék és vörös tárgynak fényességét még csak közelítőleg is helyesen megítéljük.

Az előbb felsorolt jelenségek egyedül a szemnek élettani sajátságaira vezethetők vissza s ezek a sajátságok szükségszerűen mértékadók a fotométerek szerkesztésére, éppen ezért a fotométeriai műszerekről szóló fejezetben minduntalan vissza kell majd térnünk ezekre a jelenségekre.

*A fotometria pszicho-fizikai alaptörvénye.* Bár a szem, miként előbb kifejtettük, nem képes fényerősségkülönbségek önálló mérésére, azért mégis tud fényerősségeket akképpen elrendezni, hogy a közöttük való különbségek némileg állandók. Az élettan minden külső hatást az érzékszervekre *ingernek* tekint, a melylyel a tudatunkban jelentkező *érzet* teljesen törvényszerű összefüggésben áll, a meddig nem lép túl bizonyos felső és alsó határokat. Azt, hogy melyek ezek a határok a látás esetében, már elmondtuk. Számos vizsgálat alapján megállapíthatták, hogy az érzet erőssége egyáltalán nem növekszik arányosan az inger erősségével, hanem hogy lassabban növekszik, mint maga az inger. Ha az  $\dot{E}$  érzetet egész általánosságban az  $R$  inger függvényének tekintjük, akkor az  $\dot{E} = F(R)$  függvény matematikai viselkedéséről annyit tudunk, hogy  $\dot{E}$ -nek sokkal lassabban kell növekednie, mint  $R$ -nek. A függvény természetét FECHNER ismerte föl először. Az ő nevéről elnevezett FECHNER-féle pszichofizikai alaptörvény így hangzik: »Az érzet az inger logaritmusával arányos«.

A látásnál az inger erősségét a szembe hatoló fény intenzitása szabja meg. Ha ezt  $I$ -vel jelöljük, akkor a fotometriának pszichofizikai alaptörvényét így fejezhetjük ki:  $\dot{E} = c \log I$ , hol  $c$  valamely állandó szám, melynek értéke a kísérleti föltételektől függ s ezért nincs általános jelentősége.

FECHNER-től származik az az igen egyszerű, könnyen ismételhető kísérlet, melyből a törvény hatása jól kiviláglik. Fehér lapra

állítsunk fel függőlegesen pálczát (pl. czeruzát), ettől különböző távolságokra két gyertyát, úgy, hogy a pálcza kettős árnyékot vessen a lapra. A pálczához közelebb levő gyertya pl.  $H$  intenzitással világítja meg a lapot, a távolabbi gyertya pedig a kisebb  $h$  intenzitással. A lap teljes fényerőssége tehát  $H + h$ . De a közelebb levő gyertyától eredő árnyékból hiányzik a  $H$ , az árnyék fényessége tehát  $h$ ; a távolabbi gyertyától eredő árnyékból hiányzik a  $h$ , az árnyék fényessége ennél fogva  $H$ . A második árnyéknak fényerősségkülönbsége a környezethez képest ezért egyenlő csak a  $H + h$ -nak a  $H$ -tól való különbségével. Ha most a közelebb levő gyertyát mindig közelebb hozzuk, úgy, hogy  $H$  mindig erősebb lesz, akkor ez a második árnyék végül teljesen eltűnik, a szem nem bírja többé észrevenni, bár a fényerősségbeli különbség állandóan  $h$  marad. A szem, mialatt az abszolút fényerősség változik, a fényerősségkülönbségeket tehát nem érzi állandóknak.

A kísérletekből másrészt az is kiderült, hogy a fényerősség változásának az összfényességhez való viszonyát, tehát  $\frac{h}{h+H}$ -t a szem állandónak érzi; ez pedig nem más, mint a már említett logaritmikus törvény, csak más matematikai alakba öltöztetve.

Az előbb elmondottak szerint tehát az, a mi a szemben mint észrehevés kerül tudatunkba, nem magával a fény intenzitásával, hanem ennek logaritmusaival arányos, ezért fotométriái tudományos értekezésekben már csaknem kizárólag az intenzitás logaritmusait közlik. Mi könyvünkben az érthetőség kíváncsiaként szerint hol az intenzitásokat, hol azok logaritmusait fogjuk közölni. Nagyon gyakran fogjuk használni a csillagok nagyságrendjének fogalmát is. E helyütt erről csak azt akarjuk megjegyezni, hogy két egymásra következő nagyságrend fényintenzitásának viszonzyszáma 2·5-del egyenlő, a mi annyit jelent, hogy pl. az elsőrendű csillag 2·5-szer oly fényes, mint a másodrendű. Az intenzitások ezen állandó viszonyának, az intenzitás-logaritmusok állandó különbségeként 2·5 logaritmusa, vagyis 0·398 felel meg. Újabb időben kényelmi okokból eltekintenek a 2·5-nek megfelelő pontos logaritmus-értéktől s helyette a kikerekített 0·4 értéket vezették be. A nagyságrendbeli különbségeket tehát úgy kapjuk, hogy az intenzitás logaritmusát 0·4-del elosztjuk. Például a következő adatok azonosak: a fényességek viszonya = 15:2, vagy az inten-



zítások logaritmusainak különbsége  $= 0.875$ , vagy a nagyságrendbeli különbség  $= 2.19$ .

A  $\frac{h}{h+H}$  kifejezés a megvilágított tárgy és a környezete közti

ellentétet fejezi ki, ha a tárgyat ugyanaz a világítás éri, mint a környezetet. A leggyakrabban előforduló ilyenmű esetet a csillagok fényességének mérése szolgáltatja, a hol a látszólagos háttérnek — a megvilágított földi légkörnek — fényessége hozzáadódik a csillag fényességéhez.

Eddig csak egész általánosságban beszéltünk világító tárgyakról a nélkül, hogy a világítás okát is fűrkésztük volna. Pedig ebben a tekintetben szigorúan meg kell különböztetni az oly tárgyakat, melyek saját fényvel világítanak (minők például a Nap, a gyertyaláng), az oly tárgyakról, melyek magukban véve sötétek, mint például a Hold, a papiros. Az előbbieknek a világítás minéműsége függ a hőmérséklettől, a kémiai, fizikai és felületi szerkezettől, míg az utóbbi tárgyaknál a saját hőmérsékletnek nincsen mértékadó szerepe. Saját fényvel világító tárgyaknál a kisugárzó fény intenzitása függ az atomok rezgésének amplitudójától, a melynek négyzetével arányos; ezt mindig *intenzitás* vagy *fényerősség* néven fogjuk említeni. De *megvilágítás*-nak fogjuk mondani azt a fényességet, melyet saját fényvel világító test fényereje valamely sötét tárgyon objektíve létrehoz. Ezt a megvilágítást nem lehet közvetlenül észrevenni; csak ki tudjuk számítani a saját fényű test fényerejéből és viszonylagos helyzetéből, vagy pedig, ha a sötét test fizikai tulajdonságait pontosan ismerjük, a megfigyelt világításból vagy látszólagos fényességéből.

Egyesegyedül csak ezt az utóbbit tudjuk megfigyelni s ez általában kisebb, mint a megvilágítás, mert csak azzal a fénymenyiséggel egyenlő, mely a szem irányába verődik vissza. A fotometria összes e nemű feladatai végül a látszólagos fényesség meghatározására vezethetők vissza, mert egyedül ezt lehet kiszámítani és megfigyelni.

Ugyancsak fontos és élesen szem előtt tartandó különbség van a világító tárgy felületi fényessége és összfényessége között. A felületi fényesség fogalma természetesen csak oly terjedelmű tárgynál jöhet szóba, melynek világosan felismerhető és észlelhető felülete van. Felületi fényességen értjük azt a fényességet, melyet a világító test felszínének területegysége bocsát ki. Ezt az egységet kifejezhetjük közönséges területmértékben, pl. négyzetcentiméterekben, de szögmértéket is vehetünk alapul, például a négyzetfokot. A felületi fényességen érthetjük akár a fényintenzitást, ha például azt akarjuk megvizsgálni, hogy valamely testet miként világít meg egy másik test, akár a látszólagos fényességet, ha annak megvizsgálásáról van szó, hogy milyenek látszik nekünk valamely világító vagy megvilágított felület. Az egység (terület- vagy szögmérték) megválasztása attól függ, hogy valamely tárgy valódi vagy látszó nagyságával van-e dolgunk. Ha ismerjük valamely tárgy valódi nagyságát és ennél fogva felszínének területét is négyzetcentiméterekben kifejezve s ha egyszersmind ismerjük távolságát a fényforrástól és a megfigyelőtől, akkor a négyzetcentiméterre érvényes felszíni fényességet is meg tudjuk adni. Ha azonban nem ismerjük a világító tárgy felületének valódi területét, sem távolságát, akkor csak valami szögmértéket vehetünk egységül és a területi fényességet is csak ilyféle egységre adhatjuk meg. Ha a világító tárgy terjedelme látszólag olyan kicsiny, hogy a szem nem tudja többé kiterjedtnek felismerni, akkor a fényforrást pontszerűnek nevezzük. Ilyen esettel van dolgunk az álló csillagoknál óriási távolságuknál fogva. Látszólagos nagyságuk a távolság változása következtében nem változik és a területi fényesség fogalma ennél fogva elesik. Pontszerű fényforrásoknál tehát csak *összfényességgel* van dolgunk, melynek tárgyalása és kiszámítása teljesen különbözik a területi fényességétől. Fontos tehát, hogy a két fogalom között különbséget tegyünk. Azt is meg kell említenünk, hogy magában véve sötét test — ha maga is meg van világítva — valamely harmadik testet is megvilágíthat. Ebben az esetben természetesen a megvilágított első test a harmadikkal szemben saját fényben világító test szerepét viszi. Szükséges, hogy ezekkel az alapfogalmakkal teljesen tisztába jöjjünk, mert csak így érthetjük a fotométria alapelveit.



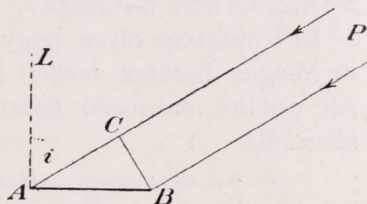
Az alapfogalmak tisztázása után most már az elméleti fotométria feladatait is pontosan körülírhatjuk. Az első feladat a következő: Tetszésszerű felületnek világító *pont* által történő objektív megvilágítását kiszámítani. Ehhez csatlakozik tetszésszerű felszínnek más tetszésszerű felület által történő megvilágításnak a meghatározása. Ezzel kimerítettük volna a *megvilágítási* feladatokat. A harmadik feladat ezután az lenne, meghatározni a két első feladatban tárgyalt világító felületeknek *látzólagos fényességét*. Ez a három feladat magában foglalja az egész elméleti fotométriát, ám azonnal meg kell említenünk, hogy a feladatok közül csak az elsőt lehet szigorúan megoldani, míg a másik kettő, különösen pedig a harmadik, még egyáltalán nincs megoldva. Eddig csak közelítő megoldások voltak lehetségesek, a melyeknek a gyakorlatban csak akkor van értékük, ha a be- és kilépő fénysugaraknak hajlái a kérdéses felszínekhez nem nagyok. Majd később meg fogjuk ismerni, hogy mi az oka az itt feltoronyosuló nehézségeknek. Még azokban az esetekben is, a melyekben a feladatok közelítőleg megoldhatók, a problémák gyakran rendkívül bonyolulttá válnak és oly tetemes matematikai nehézségeket okoznak, a melyeknek tárgyalásába e helyen nem bocsátkozhatunk.

1. *A felület megvilágítása világító pontok által.* Ha a fényforrást mint világító pontot határozzuk meg, akkor ebben a meghatározásban egyszersmind ennek lényeges sajátága is benn van. Világító pont *minden* irányban ugyanolyan intenzitású sugarakat bocsát ki. Ennélfogva a világító pontból kiinduló sugárzásra nézve egészen közömbös, hogy minő helyzetet foglal el a világító pont a megvilágított felülethez képest; ez a helyzet csak a felület megvilágítására mértékadó.

Tegyük fel legelőször, hogy a szóbanlevő felület sík és hogy méretei nagyon kicsinyek a világító ponttól való távolsághoz képest. Az első fejezet 17. oldalán már említettük, hogy pontból kiinduló minden sugárzásnál a sugárzás intenzitása a távolság négyzetével fordítva arányos. Ez az általános törvény természetesen a fénysugárzásra is érvényes és a jelen feladatnál azért van fontos szerepe, mert megállapítja, hogy a megvilágítás erőssége föltétlen függésben van a világító pont távolságától. Ha a világító pont először  $r_1$  távolságban van, azután pedig  $r_2$  távolságban, akkor

egyébként változatlanul maradt felületeknél a megvilágítás erősségei úgy viszonylanak egymáshoz, mint  $\frac{1}{r_1^2} : \frac{1}{r_2^2}$ , vagy ha a kezdeti távolságot egységnek vesszük és ebben a távolságban a felület megvilágítását  $B_o$ -sal jelöljük, akkor egészen általánosan tetszészerinti  $r$  távolságnál a megvilágítást a  $B = \frac{B_o}{r^2}$  képlet fejezi ki.

Azonban egyáltalán nem közömbös — a távolságot nem tekintve —, hogy mily helyzete van a felületrésznek a világító ponthoz képest, más szóval, hogy mily szög alatt találják a sugarak a felületrészt. A 74. rajzban legyen  $AB$  ez a felületrész. A világító  $P$  pontot oly nagy távolságban képzeljük, hogy a felületre eső  $PA$  és  $PB$  sugarakat párhuzamosoknak lehessen tekinteni. Azt az  $i$  szöveget, a melyet ezek a sugarak az  $AB$  felületre merőleges  $AL$  vonallal bezárnak, be-esési szögnek nevezzük. Ha  $B$ -ben egy  $BC$  síkot fektetünk merőlegesen a sugarak irányára, akkor ezt a felszínt is ugyanaz az egész sugárkéve éri, mint az  $AB$  felületet és ennél fogva ugyanaz a fénymennyiség is. De  $AB$  szemmel láthatóan nagyobb, mint  $BC$ . Ennél fogva ugyanaz a fénymennyiség nagyobb felszínen oszlik el és ezért kisebb rajta a felszíni fényesség vagy fénysűrűség. A matematika nyelvén szólva  $ABC$  derékszögű háromszögben az  $AB$  és  $BC$  úgy viszonylanak egymáshoz, mint az egység az  $i$  szög cosinusához, a miből azután következik, hogy az  $AB$  síkdarab megvilágítása  $\cos i$ -vel arányos.



74. rajz.

Ha tehát kicsiny síkfelületeknek pontszerű fényforrástól történő megvilágításáról van szó, akkor az általános törvényt úgy fogjuk kapni, ha az előbb talált két vonatkozást a következő képletbe foglaljuk össze  $B = \frac{B_o \cos i}{r^2}$ .

A fotométriának ezt a főtételét szavakban ilyenformán fejezhetjük ki: *Kicsiny sík felületrésznek pontszerű fényforrás által történő megvilágítása fordítva arányos a világító pont távol-*



ságának négyzetével és egyenesen arányos a beesési szög *cosinus-ával*.

Ha több pontszerű fényforrás világítja meg a felületet, akkor két esetet kell megkülönböztetnünk. Előfordulhat az az eset, hogy a felületet látszólag több pont világítja meg, míg a valóságban a fény csak egyetlen pontból indul ki. Ez az eset pl. tükrözéseknél lehetséges. Ilyenkor a fénysugarak interferenciája nyilvánulhat és a megvilágítás periodikusan egyenlőtlen lesz, azaz fényesebb és sötétebb helyek szabályszerűen váltakoznak egymással. Ilyenféle esetek tárgyalása nem a fotométria feladata és ezért ezek ismertetését itt el mellőzzük.

Ha a világító pontok egymástól függetlenek, akkor a különböző megvilágítások is függetlenek egymástól és egyszerűen összeadódnak. Ha tehát egy második világító ponttól — melynek a felülettől való távolsága  $r_1$  — a fény  $i_1$  beesési szög alatt érkezik, és ha fényessége olyan, hogy egységnyi távolságban a fénysugarak merőleges beesése mellett a megvilágítás erőssége  $B_1$ , akkor a két ponttól származó össz megvilágítást ezzel a képlettel lehet kifejezni:

$$B = \frac{B_0 \cos i}{r^2} + \frac{B_1 \cos i_1}{r_1^2}.$$

Minden új világító pont ehhez az egyenlethez egy megfelelő tagot csatol.

A fotométriái feladatoknak ezt a legegyszerűbb esetét egy számszerű példával fogjuk jobban megmagyarázni. Az első fénypontnál legyen  $B_0$  egyenlő az egységgel, az  $i$  beesési szög legyen  $60^\circ$  (ennek cosinusa = 0.5), az  $r$  távolság legyen = 2-vel, a második pont legyen háromszor oly fényes, mint az első, tehát  $B_1 = 3$ . A beesési szög legyen  $37^\circ$  (ennek cosinusa = 0.8), az  $r_1$  távolság legyen egyenlő 4-gyel. Ekkor:

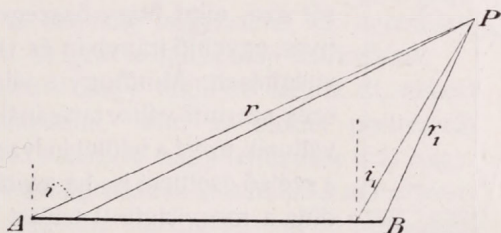
$$B = \frac{1 \times 0.5}{4} + \frac{3 \times 0.8}{16} = \frac{1}{8} + \frac{1.2}{8} = \frac{1.1}{4} = 0.275$$

A míg kicsiny sík felületnek egy vagy több pontszerű fényforrás által történő megvilágításának megállapítása ilyen egyszerű módon történt, hogy itt még matematikai alakba is foglalhattuk, addig

egyszerre megváltozik a helyzet, ha nem tekintjük azt a föltételt, hogy a felület a távolsághoz viszonyítva kicsiny legyen és még sokkal nagyobb mértékben bonyolultak a viszonyok akkor, ha a felület nem sík, hanem görbe. A matematikus számára ezek a megvilágítási feladatok nem jelentenek ugyan rendkívüli nehézségeket, de itt nem tehetjük föl azokat az előismereteket, a melyek megértésükhöz szükségesek.

Ezért vegyük azt a legegyszerűbb esetet, midőn pontszerű fényforrás nagy síkot világít meg.

Legyen  $AB$  (75. rajz) a sík metszete. A világító pont legyen  $P$ -ben. Először tekintsük az  $A$ -nál levő kis sík részecskét, melynél a beesés szöge  $i$ ,  $P$  ponttól való távolsága pedig  $r$ . Ezen részecske számára a megvilágítást az előbbi tétel alapján fejezhetjük ki, mert  $r$ -hez viszonyítva igen kicsinynek tételezzük fel. A sík másik szélén  $B$ -nél levő kis felületrészecskénél más az  $i_1$  beesési szög és más az  $r_1$  távolság. De megvilágítását szintén az előbbi



75. rajz.

tétel szerint fejezhetjük ki és ugyanezt tehetjük minden közbeeső részecskére nézve. Az egész  $AB$  felület megvilágítása a számtalan kicsiny részecske megvilágításából összegeződik. A mint már említettük, a matematikus számára ennek az összegnek az előállítását nem jelent semmi nehézséget, de annál nehezebb a nem-matematikuss számára. Egy-két ilyen feladat eredményét meg akarjuk említeni és pedig olyanokét, melyeket az asztrofizikában is alkalmaznak.

Tegyük fel, hogy a felület sík- és köralakú. A kör sugara legyen  $= a$ . A kör középpontjában emelt merőlegesen  $r$  távolságban legyen a világítópont. A kör lap megvilágítása ekkor a következő:

$$B = 2\pi B_0 \left( 1 - \frac{r}{\sqrt{r^2 + a^2}} \right),$$

a hol  $\pi$  az ismeretes LUDOLF-féle számot,  $3.14159 \dots$  jelenti, mely a kör kerületének az átmérőhöz való viszonya.

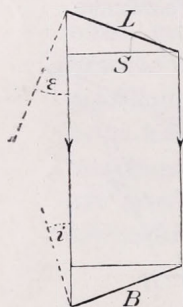


A megvilágított felület legyen  $a$  sugarú gömb. A világító pont  $r$  távolságban legyen a gömb középpontjától. A megoldás az előbbihez némileg hasonló kifejezésre vezet, t. i.:

$$B = 2\pi B_0 \left( 1 - \frac{\sqrt{r^2 - a^2}}{r} \right)$$

2. *Felület megvilágítása felület által.* Itt is először azt a különös esetet tárgyaljuk, mikor mind a két felület kicsiny és sík.

Azt lehetne gondolni, hogy valamely világító felület nem egyéb világító pontok összességénél, a melyek a meghatározás szerint külön-külön minden irányban ugyanazt a fénymennyiséget sugározzák ki. Ezzel a feladatot az előbbeni első feladatra vezettük volna vissza, mert most nem lenne már egyéb-ről szó, mint hogy összegezzük számos egyenlően fényes, egyenlő irányban és távolságban levő pontok megvilágításait. Minthogy a világító felület helyzetének tet-szés szerinti változtatásánál a világítópontok *száma* nem változik, azért a felület helyzete közömbös; sőt még abban a szélső esetben is, ha a világító felület csak az élét for-dítja a megvilágított felület felé, a belőle kiinduló fény-mennyiségnek még mindig ugyanakkorának kellene lennie, mintha azt merőlegesen sugározná ki. EULER, a



76. rajz.

nagynevű matematikus valóban ezt a föltevést vette fotométeriai vizsgálatainak alapjául. De nincs kétség az iránt, hogy ez a föltevés nem helyes, mert egyrészt oly következményekre vezet, a melyek erősen ellenkeznek a megfigyelésekkel, másrészt a kisugárzás lényegéről való újabb nézeteknek is ellentmond. Már LAMBERT megjegyezte, hogy az EULER-féle törvény nem helyes és hogy más tör-vénnyel kellene helyettesíteni, melynek helyességét különben ő maga nem tudta bebizonyítani. Sokkal későbben LOMMEL-nek sikerült ez, de egyrészt csak az ú. n. teljesen átlátszatlan testekre vonatkozó megszorítással, a minők pl. a fémek, másrészt végtelenül vastag gáz-rétegekre vonatkozólag. LAMBERT föltevése az volt, hogy a megvilági-tásra nézve nem a valóságos világító felület a mértékadó, hanem a látszólagos felszín, a mint az a megvilágított felületről nézve látszik.

A 76. rajzban legyen  $L$  a világító,  $B$  a megvilágított kicsiny sík felület.  $B$ -ből szemlélve  $L$  olyan nagynak látszik, mint a

kisebb  $S$  felület, a melyet a sugarak irányára merőlegesnek gondolunk. Ez a felület látszólag ugyan éppen olyan nagy, mint a valódi felület, de ennek valódi nagyságához való viszonya mégis csak  $\cos \varepsilon$ -nal egyenlő, a hol most  $\varepsilon$  a kilépés vagy emanáció szöge. Ha most itt is  $B_0$ -nak nevezzük a  $B$ -nek a sugarak irányára merőlegesen fekvő  $S$  világító felülettől az egységnyi távolságból történő megvilágítását, akkor ebben az esetben a  $B$  megvilágítása ( $I$ ) lesz:

$$I = \frac{B_0 \cos i \cos \varepsilon}{r^2}.$$

Szavakba foglalva, ez az alaptörvény így hangzik: *kicsiny sík felületnek szintén kicsiny sík világító felület által történő megvilágítása fordítva arányos a távolság négyzetével és egyenesen arányos a belépési és kilépési szögek cosinusainak szorzatával.*

Ha kicsiny világító felületről nagy felületre térünk át, akkor hasonló nehézségekkel találkozunk, mint az előbbi pontszerű fényforrásnál említett esetben. Valamely nagy felületnek más nagy világító felület által történő megvilágításának kiszámítása némelykor igen nagy matematikai nehézségekbe ütközik és nagyon bonyolult képletekre vezethet.

Most levezethetünk néhány általános tételt, a melyek tetemesen megkönnyítik a különleges feladatok megoldását. Az első ilyen tétel a következő:

*Ha két tetszősszerűen világító felület egymást kölcsönösen megvilágítja, akkor a megvilágítások arányosak a két felület fényerősségével.*

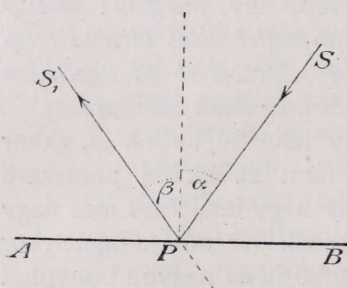
Olyan felületek számára, a melyeknek geometriai középpontjuk van — ilyenek pl. a kör, az ellipszis, a gömb, az ellipszoid —, a következő tétel érvényes: *Az a megvilágítás, melyet középpontos felület kicsiny sík felületen előidézik, arányos az erre a kicsiny sík felületre eső középső sugár beesési szögének cosinusával.*

Ebből a második tételből következik, hogy ilyféle felületek által történő megvilágításnál csak azt a különös esetét kell kiszámítani, mikor a világító felület középpontja merőlegesen áll a megvilágított kicsiny felület felett.

3. *Megvilágított felületek látszólagos fényességének meghatá-*



rozása. Az imént kifejtett megfontolások alapján abban a helyzetben vagyunk, hogy tetszőleges alakú testnek más test által történő megvilágítását kiszámíthatjuk, így pl. valamely bolygónak, vagy holdnak megvilágítását a Nap által. Már rámutattunk arra, hogy magát az összvilágítást nem figyelhetjük meg. Csupán azt figyelhetjük meg, hogy a világító test bizonyos irányból nézve milyennek látszik, másszóval, hogy ebbe az irányba mennyi fényt terel visszaverés útján, ez pedig a test fizikai szerkezetétől függ. Képzeliük pl., hogy a megvilágított bolygó abszolút fekete test; akkor ez a bolygó elnyelné és hővé változtatná át az összes sugárzási energiát, a mely őt a megvilágítás következtében éri.



77. rajz.

Semmit se fog visszaverni és intenzív megvilágítás ellenére is láthatatlan marad. Ugyanez a hatás következne be akkor is, ha a test abszolút átlátszó lenne. Ekkor t. i. minden fényt keresztül bocsátana, semmit se verne vissza és ennél fogva nem is lenne látható. Ebből következik, hogy valamely megvilágított test láthatósága elsősorban visszaverő képességétől függ. Ez a visszaverő képesség általában felette bonyolult függvénye az illető test felületi szerkezetének. Itt

ismét két esetet kell egymástól szigorúan megkülönböztetnünk: A felület lehet vagy tükröző, vagy érdes.

**Tükröző felületek.** Tökéletesen tükröző felület az, a mely a fénysugarat minden veszteség nélkül veri vissza ugyanazon szög alatt, a mely alatt az a sugár beesett, a mint azt már korábban az első fejezetben kifejtettük. A 77. rajzban legyen  $AB$  a tökéletesen tükröző felület. Valamely  $S$ -ből jövő fénysugár ezt a felületet  $P$ -ben  $\alpha$  beesési szög alatt éri. A sugár a felületet a beesés síkjában — a mely itt a rajzsík —  $\beta$  kilépési szög alatt hagyja el. E közben  $\alpha = \beta$ , és a visszavert sugár intenzitása teljesen azonos a beeső sugár intenzitásával. Az  $S$ -ből érkező sugár megvilágítása daczára a felület minden irányban láthatatlan fog maradni, kivéve  $S_1$  irányban, a melyben a világító  $S$  pontot úgy fogjuk látni, mintha  $S_1 P$  iránynak hátrafelé való meghosszabbításában feküdne.

De ilyen tökéletesen tükröző vagy visszaverő felületek a természetben nincsenek. Az eszményi esetet legjobban megközelítik a fényesre csiszolt fémfelületek, ezek között is elsősorban az ezüst. Ennél a fémnél a visszaverés következtében csak kevés százalék megy veszendőbe. Abszolút sima felületeket lehetetlen készíteni és ezért a rájuk eső fénynek kisebb vagy nagyobb mennyisége minden lehetséges irányba visszaverődik. Azonkívül elnyelés következtében is keletkezik veszteség, a mint ezt később látni fogjuk.

Egy pontban a visszaverésnek lényegesen különböző módja akkor következik be, ha a visszaverés fényesre csiszolt *átlátszó* test felületéről történik, pl. csiszolt üvegről. A mi a beesés síkját, valamint a beesés és visszaverés szögének egyenlőségét illeti, úgy mindez változatlanul marad. De a visszavert fény mennyisége tetemesen kisebb, mert annak nagy része, sőt tetemesen legnagyobb része behatol az átlátszó testbe és ott mint megtört sugár folytatja útját, a mint azt már az első fejezetben elmondtuk. A visszavert fény mennyisége az illető test törési együtthatójától és azonkívül a beesés szögétől is függ. Ha ez az utóbbi nullával egyenlő, akkor a fény merőlegesen esik a tükröző felületre. Ha  $n$ -el jelöljük a törési együtthatót, akkor ebben az esetben a visszavert fény mennyiségét a következő képlet adja meg:

$$R = B_0 \left( \frac{n-1}{n+1} \right)^2.$$

Közönséges üvegre kapjuk ebből, hogy  $R = B_0 \cdot \frac{1}{20}$ , azaz a beeső fénynek csak 5%-a verődik vissza, míg 95% behatol az üvegbe. Minthogy az égitesteken aligha fordulnak elő tükröző felületek (kivétel talán csak valamely bolygó felületén lévő tenger lehetne), ezért ezt a tárgyat nem fejtegetjük tovább.

*Érdes felületek.* Abszolút érdes felületen oly felületet értünk, mely a reá eső fényt *minden* irányban ugyanazon törvény szerint veri vissza. Abszolút érdes felületek éppen úgy nincsenek, mint a hogy nincsenek föltétlenül síma felületek. Valami tükröző hatás mindig mutatkozik, még pedig annál nagyobb mértékben, mennél nagyobb a beesési szög, úgy hogy a beesés síkjában, különösen pedig a sugár visszaverődésének irányában több fény verődik vissza, mint minden más irányban. Az ideális érdességet legjobban megközelíti a gipsz, a szántóföld rögje, posztó stb. Az a körülmény,



hogy tükrözés mindig van, magával hozza, hogy máig sem sikerült érdes felületek számára, a milyenek a természetben különösen az égitesteken fordulnak elő, szigorúan érvényes visszaverődési törvényt találni. Pedig ily törvény a fotométriára nézve nagyon fontos volna, mert ez lenne a híd az elméletileg kiszámítható úgynevezett objektív megvilágítás és a megvilágított tárgynak megfigyelés révén megmérhető látszólagos fényessége között.

Minthogy nincsenek olyan képleteink, a melyek számot adnának az érdes felületeknél keletkező tükrözésről, azért be kell érünk ezzel a tökéletlenséggel, de az eredményeknél mindig tekintettel kell lennünk arra, hogy ezáltal mégis többé-kevésbbé módosultak.

Legközelebbi teendőnk annak megállapítása, hogy mily összefüggés van valamely *megvilágított* kicsiny sík felületből kiinduló fény és kilépési szöge között. LAMBERT föltette, hogy a megvilágított érdes felület ebben a tekintetben szükségképen teljesen úgy viselkedik, mint valamely saját fényben világító felület, hogy e szerint a kisugárzó fény az emanációs szög cosinusától függ és hogy ennél fogva az összes feladatok, a melyek valamely megvilágító felület látszó fényességmeghatározására irányulnak, azonosak azzal a feladattal, midőn valamely pontnak saját fényben világító felület által történő megvilágítását határozzuk meg. A két eset között csak bizonyos visszaverődési állandóban van különbség.

Első tekintetre mindez magától értetődőnek látszik. Behatóbb meggondolás azonban azt mutatja, hogy a feladat sokkal bonyolultabb. Ha átlátszatlan test izzó állapotban van, felülete ennél fogva saját fényt bocsát ki, akkor világos, hogy helytelen az a föltevés, mintha a testnek csak a felülete bocsátana ki fényt oly értelemben, mint valami matematikai felület. Vékony rétegekben a fémek is átlátszók. Ha izzó állapotban vannak, akkor a fény náluk is bizonyos nagyon kicsiny mélységből hatol ki és kénytelen fémrétegen keresztül haladni, mely alkalommal elnyelés létesül, a mely a mélységgel mindinkább növekszik, úgy hogy végül semmiféle fény sem kerül többé felszínre. LOMMEL csak akkor tudta a LAMBERT-féle emanációs törvényt *világító* felületek esetében bizonyítani, mikor a sugárzás eredetéről ezt a föltevést

tette. A *megvilágításnál* hasonló folyamatoknak kell végbemenniök. A tárgyra eső fény bizonyos mélységig behatol és azután ismét kisugárzás útján eltávozik. Ha eközben csak az utóbbi folyamat alkalmával történnék elnyelés, akkor a LAMBERT-féle emanációs törvény megvilágított felszínekre is érvényes lenne. Csakhogy természetesen már a behatolás alkalmával is következik be elnyelés, minek következtében a LAMBERT-féle törvény módosul.

E nézetek alapján SEELIGER új emanációs törvényt állított fel, a mely mind a két elnyelési együtthatót tartalmazza, a melyek a felszínbe való behatolásnál és az abból való kilépésnél jelentkeznek. Ha a két elnyelési együtthatót  $k$  és  $k'$ -tel jelöljük, és ha a  $\frac{k}{k'}$  viszonyt  $\lambda$ -nak nevezzük, a visszavert fényt pedig  $R$ -nek, akkor a SEELIGER-féle fotometriai törvényt a következő képlet fejezi ki: 
$$R = k \cdot \frac{\cos i \cdot \cos \varepsilon}{\cos i + \lambda \cos \varepsilon}.$$

Fehér testnél a két elnyelési együttható egyenlő egymással,  $\lambda$  egyenlő lesz az egységgel és a törvényt a következő egyszerűbb képlet fejezi ki: 
$$R = k \cdot \frac{\cos i \cdot \cos \varepsilon}{\cos i + \cos \varepsilon}.$$
 Azonban nem szabad elhallgatnunk, hogy ez a biztosabb alapon nyugvó Seeliger-féle törvény sem egyezik kielégítő módon a megfigyelésekkel. Itt is ismét az a már előbb említett körülmény érvényesül, hogy a tükrözést ebben a törvényben is figyelmen kívül kellett hagyni. Ezért könyvünk harmadik részében a fotometriai eredményeket mind a két, úgy a LAMBERT-, mint a SEELIGER-féle törvény alapján kiszámítva fogjuk feltüntetni.

Ha nem tekintjük a beesés szögét, akkor tükröző visszaverődésnél a visszavert fénynek a beeső fénymennyiséghez való viszonya függ a visszaverőképességtől, vagy a visszaverési együtthatótól. A beesési szög kiküszöbölése céljából a következő megfontolásokban merőleges belépést fogunk feltételezni. Miként már említettük, az úgynevezett átlátszó testeknél az általában kicsiny visszaverési együttható a törési együtthatóból kiszámítható.

Érdes felületeknél a visszaverés együtthatóját az illető felület *albedo*-jának, azaz fehérségének nevezzük. Ha a LAMBERT-féle



emanációs törvényt vesszük alapul, akkor az albedo nem egyéb, mint együtttható, melyet a törvényhez hozzácsatoltunk, s a melynek számértéke ugyanazon testre állandó. A SEELIGER-féle törvénynél ez nem úgy van, mert itt az albedo változik a beesés szögével. Ezért SEELIGER az albedo számára más, bonyolultabb meghatározást adott, a melylyel azonban itt részletesebben nem foglalkozunk.

Az albedo megmondja nekünk, hogy érdes felületeknél a merőlegesen rájuk eső fényből mennyi verődik vissza. A legkedvezőbb esetben — a mely azonban a természetben nem fordul elő — a visszaverődés fényvesztéség nélkül menne végbe, az albedo akkor 1 lenne. A valóságban az albedónak mindig kisebbnek kell lenni egynél. Égitestek albedójának meghatározása annyiban ad felvilágosítást felszíni szerkezetükről, amennyiben földi anyagok albedójával való összehasonlítást enged meg. Sajnos, erre nézve még csak kevés észlelési adatunk van. Megemlítünk néhány oly anyagra vonatkozó adatot, a melyek megvilágított égitestek felületein esetleg előfordulhatnak:

Hó	0.78
Fehér homokkő	0.24
Agyagmárga	0.16
Szántóföld	0.08

Szószerint az albedo fogalma csak fehér fényre érvényes, átvitt értelemben azonban színes fényre is alkalmazhatjuk. Ha valamely testnek egészen határozott színű felülete van, tegyük fel pl. a vörös téglának, akkor ez annyit tesz, hogy ráeső fénynél az albedo a különböző színek számára különböző. A téglánál az albedo a vörös szín számára határozottan nagyobb, mint a többi színek számára. A felszín jellemzésére tehát az albedón kívül a visszavert fény színét is meg kell jelölnünk.

A látszólagos felületi fényességre vonatkozólag még néhány további megjegyzést kell tennünk. Azt már bebizonyítottuk, hogy valamely pont vagy felület látszólagos összfényessége a távolság négyzetével fogy. A látszólagos felületi fényességre azonban az az egyszerű törvény áll, hogy ez a látszólagos felületi fényesség a távolságtól teljesen független. Ezen látszó felületi fényesség itt oly felületre vonatkozik, a mely állandóan ugyanazon szög alatt

látszik. Ezt egy példával fogjuk jobban érthetővé tenni. Vonatkoztatassuk a Nap felületi fényességét tíz négyzetpercznyi területre és ezt vegyük egységnek. Ha a Nap hirtelen jelenlegi távolságának felére közeledne hozzánk, akkor ez a területi fényesség egy maradna, más szóval tíz négyzetpercznyi területű felszín most is ugyanazt a fénymennyiséget sugározná ki, mint az előbb. A Nap látszólagos átmérője azonban duplájára növekedett, felülete ennél fogva négyszeresére, és ezért összfényessége négyszer akkora lenne.

Ennek bebizonyítása nagyon egyszerű, ha t. i. áttérünk a valóságos vagy objektív területi fényességre, a melynél nem szög-mértéket, hanem területmértéket kell alapul venni. Valamely világító felület világító ereje természetesen független attól, hogy milyen távolságban van a megfigyelőtől, vagy a megvilágított felülettől, azaz egy négyzetcentiméternyi felület ezektől a távolságoktól függetlenül mindig ugyanazt a fénymennyiséget sugározza ki. Ha most a felületet pl. kétszeres távolságba helyezzük, akkor a négyzetcentiméter négyszer kisebbnek látszik. De a felületi fényesség meghatározása szerint mindig ugyanakkora *szöget* kell alapul vennünk. Azonban abban a szögben, a melyben eredetileg egy négyzetcentimétert láttunk, most négy négyzetcentiméter látszik. Ennélfogva a fényesség nem változott meg, a felületi fényesség állandó maradt. Az a körülmény, hogy a felületi intenzitás független a távolságtól — ellentétben az összfényesség viselkedésével — szükségessé teszi, hogy valamennyi fotométeriai problémánál, és így különösen az asztrofizika problémáinál, élesen megkülönböztessük ezeket a fogalmakat, a melyeket régebben némelykor nem vettek eléggé figyelembe.

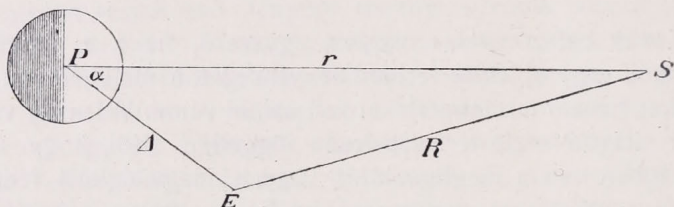
*A fotométria főfeladatai az asztrofizikában.* Ha az üstökösöket és meteorokat nem tekintjük, akkor naprendszerünkben a Nap az egyetlen saját fénynyel világító test. A bolygók és holdak sötétek és igen közel gömbalakúaknak tekinthetők, bár a valóságban közelebb állanak az ellipszoid-alakhoz. Saját Holdunk kivételével a többi bolygók és holdak oly kicsinyeknek látszanak, hogy szemünk és kisebb méretű távcsövek számára pontoknak tekinthetők. Ennélfogva fotométeriai méréseknél csak összfényességet fogjuk mérni és az előbb elmondottakból ismeretes, hogy ez az összfényesség a Földtől való távolság négyzetétől függ.



Az összes itt felmerülő feladatok megoldása matematikailag már annyira bonyolult, hogy azt itt nem tárgyalhatjuk. Csak néhány általános megjegyzésre szorítkozunk.

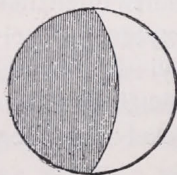
*Általános feladat.* Bolygó sötét gömbjét a Nap megvilágítja. A Földről szemlélve hogyan függ e bolygó összfényessége a kölcsönös helyzettől?

Az itt szereplő nagy távolságoknál a Napot elég nagy köze-



78. rajz.

lítéssel világító pontnak vehetjük. Ebből az okból azután a bolygót érő sugarakat párhuzamosoknak tekinthetjük, a mi más szóval annyit tesz, hogy a bolygónak mindig a Nap felé fordított teljes félgömbje van megvilágítva. A 78. rajzban  $S$  legyen a Nap,  $P$  a megvilágított bolygó,  $E$  a Földön képzelt megfigyelő. A bolygó-



79. rajz.

nak a Naptól való  $PS$  távolsága legyen  $r$ , a Föld-Nap-távolság legyen  $= R$ , a bolygó és Föld távolsága legyen  $\Delta$ . A  $SPE$  háromszögben a bolygónál levő szöget jelöljük  $\alpha$ -val. A Földről szemlélve a bolygónak egy részét megvilágítva, más részét sötétnek látjuk, a mint az a Hold fényalakjairól általában ismeretes. A rajzból következik, hogy az  $\alpha$  szög éppen akkora, mint a mekkorának látjuk a bolygó sötét részét a bolygó középpontjától számítva. Ha pl. az  $\alpha$  szög  $60^\circ$ , akkor az egész bolygókorong  $180^\circ$ -ából  $60^\circ$ -ot látnánk sötétnek,  $120^\circ$ -ot pedig megvilágítottnak. Az  $\alpha$  szöget a fázis szögének nevezzük. Ez a szög mértékadó a bolygó felületének ama része számára, a mely fényt sugároz felénk.

E föltevés alapján a bolygó olyformán festene, a mint azt a 79. rajz mutatja.

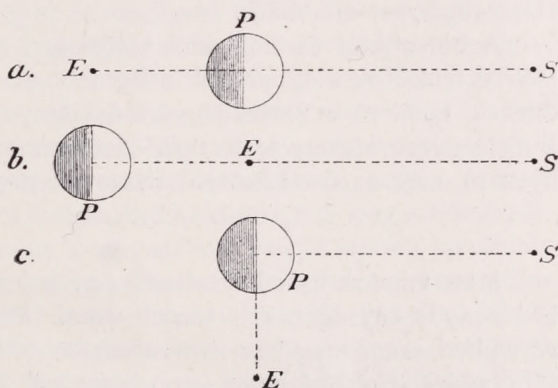
Három különös esetet kell külön megemlítenünk:

Föld, bolygó és Nap egy egyenesben vannak és a bolygó a Föld és a Nap között foglal helyet (80. *a* rajz).

A csillagászatban azt mondjuk ilyenkor, hogy Nap és a bolygó együttállásban, azaz tudományos mesterszóval élve, konjunkcióban van. A bolygó a Föld felé csak a sötét felét fordítja és ezért láthatatlan (mint a Holdnál az újhold).

A három égitest ismét egy egyenes vonalon van, de most a Föld a Nap és a bolygó között (80. *b* rajz) legyen (oppozíció). A Földről most az egész megvilágított bolygókorongot látjuk (Holdnál a telihold).

Ha ebben az *a* és *b* esetben a három égitest valóban pontosan egy egyenesben van, akkor a konjunkció alkalmával a bolygó a Nap korongja előtt fog elvonulni (úgy, mint a Hold napfogyatkozás alkalmával). Az oppozíció alkalmával a



80. rajz.

bolygónak elsötétedése vagy fogyatkozása keletkezhetnék. Csak-hogy a valóságban a bolygók nagyon messze vannak tőlünk és csak a Holdnál észlelhetjük a holdfogyatkozást.

A harmadik eset, ha a bolygónál levő szög derékszög (80. *c* rajz), a fázis szöge  $\alpha$  tehát szintén  $90^\circ$ , azaz a bolygót félig látjuk megvilágítva (a Holdnál az első vagy utolsó negyed).

A feladat most két részre oszlik: Kiszámítani a bolygófelület különböző részeinek megvilágítását; kiszámítani azt a fénymenyiséget, mely ezekről a részekről a Föld felé verődik vissza. Az első a bolygó-Nap-távolság négyzetétől függ, a második pedig a bolygó-Föld-távolság négyzetétől. E szerint bizonyos, hogy eredményül oly törtet kell kapnunk, melynek nevezőjében  $r^2$  és  $\Delta^2$  előfordulnak. Ha más megfigyelésekből ismerjük a bolygónak



pl. az albedóját, akkor a bolygó látszó fényességét ki fogjuk számíthatni, kifejezve a Nap fényessége segítségével. Megfordítva a megfigyelt és a kiszámított látszó fényesség összehasonlítása által kiszámíthatjuk az albedót.

Még egyszer kell figyelmeztetnünk arra, hogy minden ilyenmű számítás kevésbé megbízható, mert az égitestek felülete egyáltalán nem elégíti ki az alapul vett követelményeket. Egyrészt nem tökéletesen érdesek, másrészt a valóságos egyenetlenségek oly durvák (holdhegyek), hogy már nem is foglalhatók az alá a fogalom alá és azonkívül az égitesteket többé-kevésbé sűrű légkör veszi körül, a mely úgy a megvilágítást, mint a visszاسugárzást módosítja.

A bolygóktól és holdaktól különböző más testeknél a fotométeriai feladatok még sokkal nehezebb és bonyolultabb alakot öltenek. Ilyen pl. a Saturnusgyűrű összfényességének kiszámítása, a mely gyűrű kicsiny testcskék összehalmozódásának tekinthető. Ilyen pl. még az üstökösöktől visszavert napfény kiszámítása is.

Mint minden fizikai mérésnél, úgy a fotométeriai méréseknél is bizonyos egységet kell alapul venni. Miként már említettük, az emberi szem magában nem alkalmas fénykülönbségek mérésére, annál kevésbbé pedig arra, hogy egy határozott fényességfokot élesen emlékezetébe vésson és azt több más különbözőfokú fényesség között ismét fölismerje. A fotométeriában tehát nincs fiziológiai egységünk, ezért nem marad más hátra, mint valamely fizikai egységet venni alapul, azaz olyan egységet, melyet fizikai tulajdonságai alapján mindig újból pontosan előállíthatunk.

Az asztrofotométeriában bizonyos égitestek szolgálhatnak ilyen fénymérési egységekül. A Nap és a legtöbb állócsillag fényessége eléggé állandó, hogy erre a célra használhassuk. A Nap fényességét erre a célra a Földtől való közepes távolságra kell visszavezetni. De ennek a fénynek előbb a földi légkörön kell áthatolnia, minek következtében oly változásokat szenved, a melyek egyáltalán nem állandók, hanem erős ingadozásoknak vannak alávetve. Bizonyos körülmények között ez hasznos is lehet, a meny nyiben éppen ez által a földi légkör hatása a csillagok fotométeriai vizsgálatánál kiküszöbölhető.

Laboratóriumi vizsgálatoknál ezek a természetes fényegységek csak kivételesen találhatnak alkalmazást, de pusztán fotométeriai vizsgálatoknál is érdekes, hogy e természetes és a mesterséges fényegységek között kapcsolatot találjunk. Ezért szükséges mesterséges fotométeriai mértékegységek megalkotása. Természetes, hogy erre a célra csak saját fénynyel világító testek használhatók. Ebből pedig nagy nehézségek származnak.

Tudjuk, hogy mennél jobban közelíti meg valamely test az abszolút fekete testet, annál inkább közelíti meg a test izzása a KIRCHHOFF-féle függvénytől előírt menetet. E szerint alacsonyabb izzási hőmérsékletnél a kisugárzás maximuma a hosszabb hullámok körében megy végbe és emelkedő hőmérséklettel a rövidebb hullámok felé tolódik el, úgy hogy ezeknek viszonylagos erőssége a hosszú hullámokéval szemben növekszik. Bár a szem fiziológiai fel fogása egyáltalán nem engedelmeskedik a KIRCHHOFF-féle törvénynek, azért mégis követi annyiban, hogy alacsonyabb hőmérsékletnél a hosszabb vörös hullámok sokkal erősebben ingerlik a szemet, mint a rövidebb kék- és ibolyaszínű hullámok, míg magas hőmérsékletnél az inger maximuma a sárgaszínbe esik, a melyen túl azután nem halad. Alacsony hőmérsékleten izzó testek vöröses színe emelkedő hőmérséklettel a fehér színbe csap át. Ebből az következik, hogy a mértékegységek színe is függ a hőmérséklettől. De az egyik fotométeriai főalapelv szerint két egymással összehasonlítható fényesség között nem szabad színbeli különbségnek lennie. Ezért azután egyetlen mértékegység nem is elég. A napfénynyel való összehasonlításnál lehetőleg magas hőfokú földi fényforrást kellene használnunk, míg a vöröses gázláng fényességének meghatározásánál szintén vörösesen égő gyertya lenne a legalkalmasabb. De ha pl. a Nap fényességét a gázláng fényességével akarnók összehasonlítani, akkor ismét ugyanazon nehézséggel állanánk szemben, mert hiszen a vöröses gyertyalángot magas hőfokú fehér fényforrással kellene összevetnünk.

Az itt felmerülő nehézségeket nem lehet leküzdeni és azért fotométeriai vizsgálatoknál gyakran el kell tekintenünk a fényegység pontosan egyenlő színének feltételétől, ellenben természetes, hogy ragaszkodnunk kell a mértékegység lehető legnagyobb állandóságához. Erre nézve meg kell jegyeznünk, hogy a fotométeriai pontosság határa körülbelül egy százalékot tesz ki. Követelhetjük



tehát, hogy a mértékegység fényessége egy százalékon belül állandó maradjon.

Az idők folyamán bevezetett különféle fényegységek közül az alábbiakban csupán a legfontosabbakat akarjuk elsorolni.

1. *Métergyertya.* Métergyertyán azt a *megvilágítást* értjük, melyet gyertyaláng egy méternyi távolságban létesít. Sok régebb megfigyelésnél nincsen megmondva, hogy miféle gyertyára vonatkoznak a mérések, pedig a láng fényessége függ a gyertya anyagától és a láng magasságától. A tulajdonképpen normálgyertyának az angol cztvelőgyertyát kell tekintenünk, mely 44·5 mm-nyi lángmagasság mellett óránként 7·77 gramm anyagot fogyaszt.

2. *HEFNER-ALTENECK-féle normállámpa.* A gyertyaláng különböző körülmények miatt kevésbé alkalmas igazi normálegységnek; ilyenek pl. a bélelszenesedések, a gyertya felső végén összegyülekező cseppfolyós anyag magasságának hatása stb. A HEFNER-féle normállámpánál ezeket a hátrányokat azzal kerülték el, hogy folyékony és chemiaillag pontosan meghatározható anyagot használnak benne (t. i. amylacetatot), a bél pedig csak az égési anyag szállítását végzi, maga pedig nem szenesedik el, hanem teljesen érintetlen marad. A láng 8 mm belső átmérőjű fémhengerből ég, a bél pedig mindig ezen henger pereme alatt marad. A láng 4 cm-nyi magasságát diopterrel állandóan ellenőrzik, a magasság állandóságát pedig a bél eltolásával lehet fenntartani. Ilyen méretek mellett ezen normállámpa szolgáltatja megvilágítás egy méter távolságban a normálgyertya megvilágításával egyenlő.

3. *A német »Physikalisch-technische-Reichsanstalt« platina fényegysége.* Fényegységül az a fénymennyiség szolgál, mely 1 cm<sup>2</sup> elektromosan izzított platinából bizonyos határozott hőmérséklet mellett kisugárzik. Minthogy a hőmérsékletnek Celsius-fokokban való megállapítása nehézségekbe ütközik, azért a hőfok szám-szerű kifejezését mellőzzük.

De ezt a hőfokot két sugárzásmennyiség viszonya egyértelműen határozza meg. A szóban levő két sugárzás az össz-sugárzás és azonkívül az a részletsugárzás, a mely 2 cm vastag vízrétegen még áthatol. Ebben tehát éppen a nagyobb hullámhosszúságú erősebb sugarak hiányzanak, a melyeket a víz elnyel. A két sugárzás viszonya 10:1 legyen.

Kétségkívül ilyen úton igen tökéletes állandóságú fényegységet lehet előállítani. De maga az előállítás körülményes és jelentékeny technikai nehézségekkel is jár, úgy hogy a közönséges gyakorlati célokra ezt a fényegységet aligha fogják kiterjedtebben használni.

Amióta a mesterséges fekete testet oly kitűnő módon sikerült megvalósítani, mindenesetre az lenne a legtökéletesebb, ha ezt használnák fotométriái egységként, bár ennek általános bevezetése szintén keresztülvihetetlen.

4. *A Scheiner-féle benzinlámpa.* Ezt a lámpát a fotográfiában az ú. n. sensitometrikus vizsgálatoknál használják fotométriái célokra. Berendezése a HEFNER-féle lámpáéhoz hasonló, csak az amilacetát helyett benzint használnak. Úgy mint ott, a láng itt is csőből ég a bél elhasználása nélkül és a láng állandó magassága szintén diopter segítségével biztosítható. A láng vörös hengerben foglal helyet és a hengeren a láng előtt nyílás van. E nyílás és a láng közé fémmernyőt iktatnak. A láng fénymaximuma helyén 1 mm széles vízszintes rés van az ernyőben, a melyen át a fény keresztülhatol. Az által, hogy csak ezt a középső részt vesszük igénybe, a lángmagasság kis ingadozásait ártalmatlanná tesszük. Minthogy a lángnak csak kicsiny részét használjuk, azért a világítás hatása természetesen lényegesen kisebb, mint a normállámpáé. 1 m-nyi távolságban a megvilágítás a HEFNER-féle lámpának 0.089-ed része. A fotométriában általában a métergyertyát, vagy pedig a tőle csak nagyon keveset különböző HEFNER-méterlámpát használják egységül, és ezt mi is alapul fogjuk venni.

Azzal, hogy a fotográfiát az exakt tudományokba bevezették, a fotometria is új segédeszközzel gyarapodott. A fotográfiai fotometria az optikaitól több lényeges pontban különbözik. Erről azonban csak akkor fogunk majd beszélni, ha a fotográfiai folyamatokkal közelebbről megismerkedtünk.



## TIZEDIK FEJEZET.

**A fotométeriai műszerek.**

Az előbbi fejezetben tárgyalt alapelvek értelmében minden fotométeriai műszernek azt a követelményt kell kielégítenie, hogy fény gyengítésével vagy erősítésével két összehasonlítandó fényerősség között egyenlőséget idézzon elő, még pedig mérhető módon. Minthogy a fényerősség növelése általában különös nehézségekkel jár, míg a gyöngítés sokkal egyszerűbben valósítható meg, azért a gyakorlatban csak az utóbbi jöhet szóba. Az előbb említett követelményt közvetetlen és közvetett úton lehet teljesíteni, azáltal, hogy a két összehasonlítandó fényességet, pl. a Holdat és valamely állócsillagot, közvetetlenül figyeljük meg, miközben a fényesebb fényforrást mérhető módon gyöngítjük, vagy pedig azáltal, hogy a két fényforrást valamely harmadikkal hasonlítjuk össze, utóbbi esetben azután többnyire azt a harmadik fényforrást módosítjuk.

Bár a fényegyenlőség létrehozásának elvétől semmiesetre sem térünk el, a fotométeriai eszközöket, az ú. n. fotométereket, mégis két különböző osztályba sorozták. Vannak t. i. oly fotométerek, a melyeknél a fényegyenlőség bizonyos kényelmes fényességfokon állítható elő, továbbá vannak oly fotométerek, a melyekkel a fényegyenlőséget a láthatóság alsó határánál érhetjük el (u. n. extinkciós fotométerek). Az első csoportnál több vagy kevesebb tökéletességgel teljesíthetők a már említett további föltételek, minők az összehasonlítandó tárgyak alakbeli és nagyságbeli egyenlősége. Ezek a fotométerek tehát elvileg tökéletesebbek a második osztályba tartozó fotométereknél, a melyeknél ezt a föltételt soha sem lehet teljesíteni.

Az egyik fényforrás gyöngítésére szolgáló módszerek részben mind a két fajta fotométernél alkalmazhatók; ezért először ezekkel foglalkozunk.

**A mérhető fénygyöngítés módszerei.**

1. *Fénygyöngítés a fényforrás távolságának nagyobbításával.* Azt, hogy pontszerű fényforrásnál a megvilágítás a távolság négyzetével fogy, már a 17. lapon bebizonyítottuk. Ez a törvény

még akkor is érvényes, ha a fényforrásnak észrevehető kiterjedtsége van, mert hiszen változatlan felületi fényesség mellett a felület nagysága szintén a távolság négyzetével fogy. A gyakorlatban ezt a tételt csak nagy óvatossággal szabad használni, mert igen könnyen megtörténik, hogy felcseréljük a fényforrás felületi fényességét és a megvilágítást. Ha pl. papiroslapot gyertyával világítunk meg, akkor a megvilágítás és vele együtt a megvilágított felület fényessége is a gyertyának a laptól való távolságának négyzetével fogy, úgy hogy a törvény itt érvényes. Ha azonban valamely gyertyának fényességét (felületi fényességét) távcsövön át figyeljük és ha most a gyertyalángnak távolságát a távcsőtől növeljük, akkor a felületi fényesség mindig ugyanaz marad. Csak ha a gyertyaláng oly nagy távolságra van a távcsőtől, hogy már csak pontnak látszik, akkor további távolodásnál a láng fényessége — de most már összfényessége — a távolság négyzetével fogyni fog.

2. *Fényforrásból jövő sugárkéve átmérőjének változtatása.* Ha nem arról van szó, hogy valamely világításnak pusztán a hatását szemléljük, akkor a fotométriában a fényforrás észlelésénél sokszor használatos a távcső. A távcső fényerősségét a tárgylencse átmérőjének négyzetével szokásos arányosnak venni. Ez alapon olyan fotométereket szerkesztettek, a melyeknél a távcsőben látható tárgynak fényessége azáltal gyengíthető, hogy a tárgylencsét ernyő segítségével kisebbitik. Ez a módszer azonban általában helytelen és pedig több oknál fogva. Mert ezáltal nem csupán a fényesség változik meg, hanem maga a gyújtópontbeli kép is. Ha nagy területet szemlélünk, akkor az elv meglehetősen kifogástalan, kicsiny felületeknél, különösen pedig pontoknál ellenben teljesen használhatatlan. Világító pontnak gyújtópontbeli képe a fény diffrakciója következtében sohasem pont, hanem kicsiny korong, melynek átmérője a tárgylencse átmérőjével fordított arányban változik. Ha az ernyő a tárgylencse foglalatának alakját változtatja, pl. ha háromszögalakú nyílással ellátott ernyőt teszünk a tárgylencse elé, akkor a diffrakciós képnek még az alakja is megváltozik. Ezáltal pedig természetesen a diffrakciós kép tulajdonképp észlelés alá kerülő középső részének fényessége is változást szenved. Ha a tárgylencse előtt ernyőt alkalmazunk, ebből az a további hibaforrás származik, hogy a tárgylencse szélső



részei a gyújtópontbeli képben nem ugyanazt a fényességet idézik elő, mint a tárgylencsének egyenlő területű középső részei. A tárgylencse vastagsága és ezzel a fényelnyelés is más a peremen, mint a középén. Azonkívül a tökéletlen szintelenítés és a gömbi eltérés hibái is hatással vannak. Azt hitték, hogy ezt a hibát úgynevezett szektorernyő segítségével elkerülhetik. Ez oly ernyő, melynek nyílása a tárgylencse közepétől a peremig körszektoralakú részt hagy szabadon. De ennél a berendezésnél is a szektor szögének változtatása a diffrakciós kép változását vonja maga után.

3. *Fénygyöngítés forgó szektorok segítségével.* Itt oly szektorokat alkalmaznak, mint a minőket az imént említettünk, csak hogy nem a tárgylencse előtt, hanem a sugárkéve tetszőleges helyén. A szektor-nyílással ellátott korongnak oly gyorsan kell forognia, hogy a szem ne vehesse többé észre a világítás megszakítását, hanem az a benyomása legyen, mintha a fényforrás teljesen folytonos lenne. Könnyen belátható, hogy a fénygyengítés mértéke attól fog függni, hogy milyen arányban van a szektor szögnyílása az egész kerülethez, vagyis a  $360^\circ$ -hoz. Ha pl. valamely szektornak a nyílásszöge  $60^\circ$ , akkor a fény  $\frac{1}{6}$ -ra gyöngül, ha pedig a szögnyílás  $180^\circ$ ,  $\frac{1}{2}$ -re csökken a fényerősség.

4. *Fénygyöngítés elnyelő közegek segítségével.* Sugárkéve fényerejét úgy is gyöngíthetjük, ha erősen elnyelő közegeket, pl. színes üvegeket vagy folyadékokat teszünk közébe. Ennek az elvnek alkalmazásánál a főnehézség, hogy nehéz oly közegeket előállítani, a melyek mindenféle színű fényt egyenlő erősséggel nyelnek el, a melyek tehát fehér fényt a szürke szín minden árnyalatára gyöngítenek, a nélkül, hogy ezáltal a fehér fény valami színeződést mutatna. Az úgynevezett füstüveg e követelményt még a legjobban kielégíti, de általában a nélkül, hogy ezt tökéletesen elérné. (A füstüveg finoman eloszlott kormot tartalmaz anyagában.)

5. *Fénygyöngítés tükröző felületeken való visszaverődéssel.* Erre a célra gömbtükröket használunk és megfigyeljük a világító tárgyknak ezen tükrök szolgáltatta valós képét. Erős görbületű tükröknél a képek nagyon kicsinyek, úgy hogy nagyobb felületekről is — pl. a Napról — pontszerű képet kaphatunk, melynek alkalmazása bizonyos körülmények között előnyös lehet.

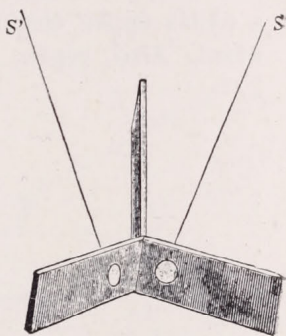
6. *Fénygyöngítés sarkítással.* Miként már említettük (33. lap), a fénysarkítás elve lehetségessé teszi, hogy sarkított fényt egészen nulla erősségig gyöngítsünk a polarizátor és analizátor helyzetének kellő megválasztásával. Ez az elv a fotométriában kitűnően használható, mert a gyöngítés valamennyi hullámhossz számára ugyanaz és az elrendezés is többnyire nagyon egyszerűsíthető.

A fénygyöngítésnek még egyéb módszereit is említhetnők. Az elsoroltak azonban a leghasználatosabbak. Áttérhetünk most már az egyes fotométerek leírására. Első sorban az asztrofotométriában használatosakra leszünk tekintettel, de nem mellőzzük a történelmileg érdekes régiebb műszereket sem.

I. *Csoport.* 1. Fotométerek, a melyek a változó távolság elvén alapszanak. Mint-hogy a jelzett óvatosság tekintetbe vételével ezen elv alkalmazása teljesen kifogástalan és használata a gyakorlatban technikailag is igen egyszerű, az első fotométereket ennek alapján szerkesztették. Használhatóságuk az égi fotométriában azonban nagyon korlátozott, amennyiben általában csak fényerős tárgyaknál használható.

A BOUGUER-féle fotométer (81. rajz) lényeges része két egyenlő nagyságú, kör alakú nyílással ellátott deszkácska, mely tompaszög alatt találkozik. Az egymással összehasonlítható két fényforrást  $S$  és  $S'$  akként helyezik el, hogy a belőlük kiinduló sugarak merőlegesen esnek a két kis deszkára. A  $S$  és  $S'$  irányok között elhelyezett harmadik deszka megakadályozza, hogy a nyílásokat mind a két fényforrásból fény érje. A két nyílás áttetsző olajozott papirossal van beragasztva. A keresztülbocsátott fény ennélfogva az illető fényforrás összfényessége által előidézett megvilágítás mértékének tekinthető. Már most, mialatt az egyik fényforrás pl. a gyengébb  $S'$ , változatlan távolságban marad, addig a fényesebb  $S$  fényforrás távolságát addig növeljük, míg a két nyílás egyenlő fényesnek látszik. Ha a gyöngébb fényű tárgy távolsága  $d'$ , a fényesebbiké pedig  $d$ , akkor  $S$  a  $\frac{d^2}{d'^2}$  arányban fényesebb, mint  $S'$ .

Példa: Legyen  $S'$  normálgyertya,  $S$  pedig elektromos izzólámpa,

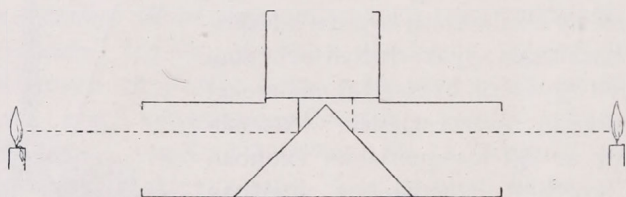


81. rajz.



$S'$  legyen a  $d' = 1$  m távolságban. A két nyílás fényességének egyenlősége akkor következze be, mikor  $d = 4$  m. Ebben az esetben  $S \frac{4^2}{1^2} = 16$ -szorta, fényesebb a  $S'$ -nél, más szóval az elektromos izzólámpa 16 gyertya fényű.

A RITCHIE-féle fotométer (82. rajz). A RITCHIE-féle fotométer valójában a BOUGUER-félének javítása, amennyiben nem föltétlenül szükséges, hogy az a helyiség, a melyben mérünk, sötét legyen, azonkívül a két megvilágított felület itt közvetlenül érintkezik. Két oldalt nyitott, belül fekete szekrény középen csővel van ellátva, melynek felső részén kisnyílás van; ez a nyílás éppen elég nagy ahhoz, hogy rajta keresztül lehessen nézni. Alsó végén, a tiszta látás távolában, a cső olajozott

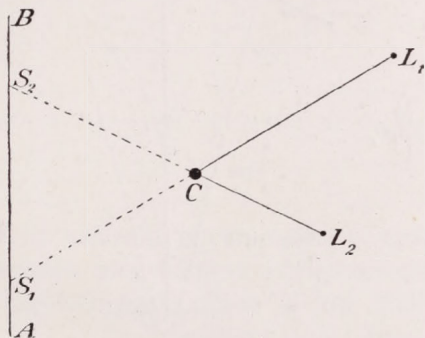


82. rajz.

papirossal van beragasztva. A papiros alatt két tükör van  $45^\circ$ -nyi szög alatt elhelyezve, a melyek a szekrénytől jobbra és balra elhelyezett két fényforrásnak a fényét az olajozott papirossra vetítik. A fényegyenlőséget itt is úgy érzük el, hogy az egyik fényforrás távolságát változtatjuk, a kiszámítás pedig tökéletesen úgy történik, mint a BOUGUER-féle fotométernél. Ezen fotométernél ismerkedünk meg először oly segédeszközzel, mely érdekes kerülő úton vezet arra, hogy a két megvilágított felület egyenlőségét a lehető legnagyobb pontossággal megítélhessük. Abból a célból, hogy megkönnyítsük azt a nehézséget, a mely a két fényforrás egyenlőtlen színe következtében a fényegyenlőség megítélésénél felmerül, nagyon apró betűkkel telenyomtatott papirost használunk a cső végének leragasztásánál. Föltehetjük, hogy a világítás akkor egyenlő, ha az írás mind a két felületén egyformán jól olvasható. A valóságban tehát a sötét betűk és a világosabb környezet közti ellentétet ítéljük meg. Az azonban, hogy ezáltal elérjük-e a meg-

világítás valóságos egyenlőségét, kérdéses marad. De a gyakorlatban ezáltal mindenestre elérjük a kitűzött célt, t. i. a különböző színezések fiziológiai felfogásának egyenlőségét.

A LAMBERT-féle fotométer, vagy RUMFORD-féle árnyékfotométer (83. rajz). Függőlegesen álló  $AB$  fehér lap előtt függőleges, átlátszatlan  $C$  pálcza van elhelyezve. A két  $L_1$  és  $L_2$  fényforrás együttesen világítja meg a fehér lapot. Csak a pálcza árnyékának helyén,  $S_1$  és  $S_2$ -ben van a lap csak az egyik fényforrástól megvilágítva, még pedig  $S_2$ -ben az  $L_1$  által és  $S_1$ -ben az  $L_2$  által. Könnyen érthető, hogy a két árnyékot akkor fogjuk egyenlő világosságúnak látni, ha a két fényforrás egyenlő erősen világítja meg őket. Ezt pedig azáltal érjük el, hogy az egyik fényforrás távolságát változtatjuk. Ezen fotométer használatánál azonban ügyelni kell arra, hogy a két árnyék megvilágítása csak akkor függ egyedül a távolság négyzetétől, ha a beesési szögek azonosak; ellenkező esetben a szög cosinusától való függés is érvényesül.



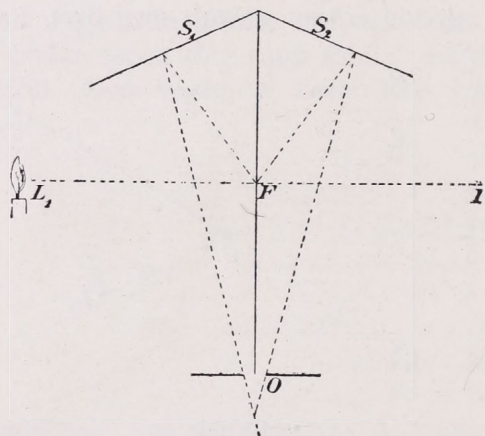
83. rajz.

Valamennyi fotométer között ez az árnyékfotométer a legegyszerűbb, mert hiszen elkészítéséhez nem kell egyéb egy papiroslapnál és egy czeruzánál, a melyet pálczának használunk. Különösen ott használható előnyösen, a hol kicsiny terjedelmű fényforrásokról van szó, mert ebben az esetben az árnyékok élesek; ellenkező esetben pedig az árnyékok elmosódottsága nagyon zavaróan hat. Az árnyékfotométernél nem teljesíthető az a föltétel, hogy az összehasonlítandó felületek lehetőleg érintkezzenek. Figyelemmel kell lennünk arra, hogy a számításba jövő távolságok itt mindig a fényforrástól a másik fényforrás előidézte árnyékig veendő, a mi esetünkben tehát  $L_1 S_2$  és  $L_2 S_1$ .

A BUNSEN-féle fotométer, vagy folt-fotométer (84. rajz). A két fényforrás  $L_1$  és  $L_2$ -ben van. Fehér papirosból készült korongon  $F$ -nél kör alakú olajfolt van, a mely a papirost ezen a helyen



áttetszővé teszi.  $S_1$  és  $S_2$  két, szög alatt egymáshoz hajló tükör, a melyekben  $O$ -ból szemlélve az olajfolt mindkét oldalát látjuk. Az ernyő látszólagos fényessége az egyik oldalon, mondjuk pl. a balon, az  $L_1$  fényforrás világításától függ. A zsírfolt látszólagos fényessége azonban  $L_1$  megvilágításától és az  $L_2$  fényforrásnak az áttetsző papiroson keresztül bocsátott megvilágításától függ. A két fényforrás távolságának változtatásával a megvilágítást úgy lehet szabályozni, hogy az ernyő éppen olyan világosnak lássék, mint a kétszeresen megvilágított olajfolt, úgy, hogy



84. rajz.

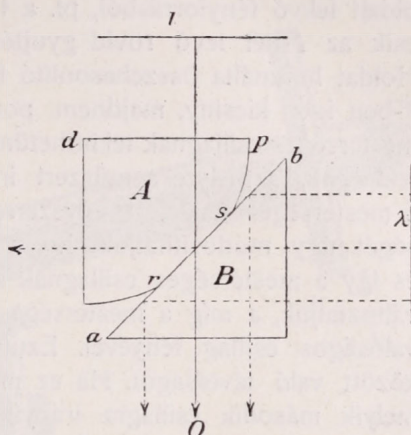
az utóbbi eltűnik és úgy látszik mintha az egész ernyő egyenletesen lenne megvilágítva. Ha a bal oldalon ez az egyenlőség előállt, azért a jobb oldalon ez nem okvetetlenül szintén így van, mert az ernyő és az olajfolt elnyelő-képessége nagyon különböző. Ezért a megfigyelést most a jobb oldalon is végre kell hajtani és a talált távolságok középértékét kell venni.

A BUNSEN-féle fotométert a technikában használják leginkább. Különösen a gázgyárok használják a gáz világítóképességének állandó megvizsgálására. Ez annyiban nagyon különös, mert ez a fotométer elvi hibában szenved. T. i. még akkor is, hogy ha a két fényforrás tökéletesen egyenlő színű, a folt mindig más színű (sárgásabb), mint az ernyő, mert az olajozott papiros nem nyeli el egyenlő mértékben az összes színeket. A valóságban tehát a folt soha sem tűnik el teljesen. A sokkal egyszerűbb RITCHIE-féle fotométer ettől a hibától mentes.

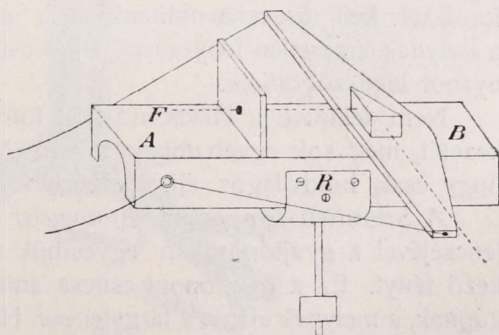
A LUMMER-BRODHUN-féle fotométer a folt-fotométer módosítása az utóbbinak hibái nélkül. Minden jel arra vall, hogy méréseknél ezzel a fotométerrel a legnagyobb pontosságot lehet elérni.

Lényeges része két prizma (85. rajz), melyek közül az egyik,  $B$ , közösleges teljesen visszaverő prizma. A másik prizma  $A$ , a sík átfogó helyett a gömbi  $p$  felülettel van határolva, a melynek közepébe kis sík kör-alakú  $rs$  felület van becsiszolva. Ez a felület oly erősen szorul a  $B$  átfogó felületéhez, hogy a kettő között nincs többé levegő és a fény teljesen zavar-talanul haladhat rajtuk kereszt-ül. Legyen  $l$  és  $\lambda$  a két felület, melynek fényességét össze akarjuk hasonlítani. A szem  $O$ -nál van és  $l$ -től fényt csak az  $rs$  érintési felületen át kap,  $\lambda$ -tól pedig csak azok a sugarak érnek a szembe, a melyek az  $ar$  és  $sb$  felületeken teljesen visszaverődnek. Így azután élesen határolt, egyenletesen világos foltot látunk ugyancsak egyenletesen megvilágított környezetben. Ha előállítjuk  $l$  és  $\lambda$  fényének egyenlőségét, akkor a folt tökéletesen eltűnik, ellentétben a BUNSEN-féle folt-fotométerrel.

A HERSCHEL-féle fotométer (asztronométer; 86. rajz). A HERSCHEL JOHN-tól 1834-ben szerkesztett asztronométer az első eféle műszer, melyet állócsillagok fényességének megmérésére használtak, és ezért történelmi érdekessége van. Szerkezete nagyon egyszerű. Állványra fahenger mozgathatóan úgy van része-  
relve, hogy valamely csillagra közelítően be lehessen állítani. Ezen a hengeren (a mely rajzunkon nem látható)  $AB$  kivájt fadarab ide-oda csúsztatható. A fotométert a hengeren súly segítségével tartjuk



85. rajz.



86. rajz.



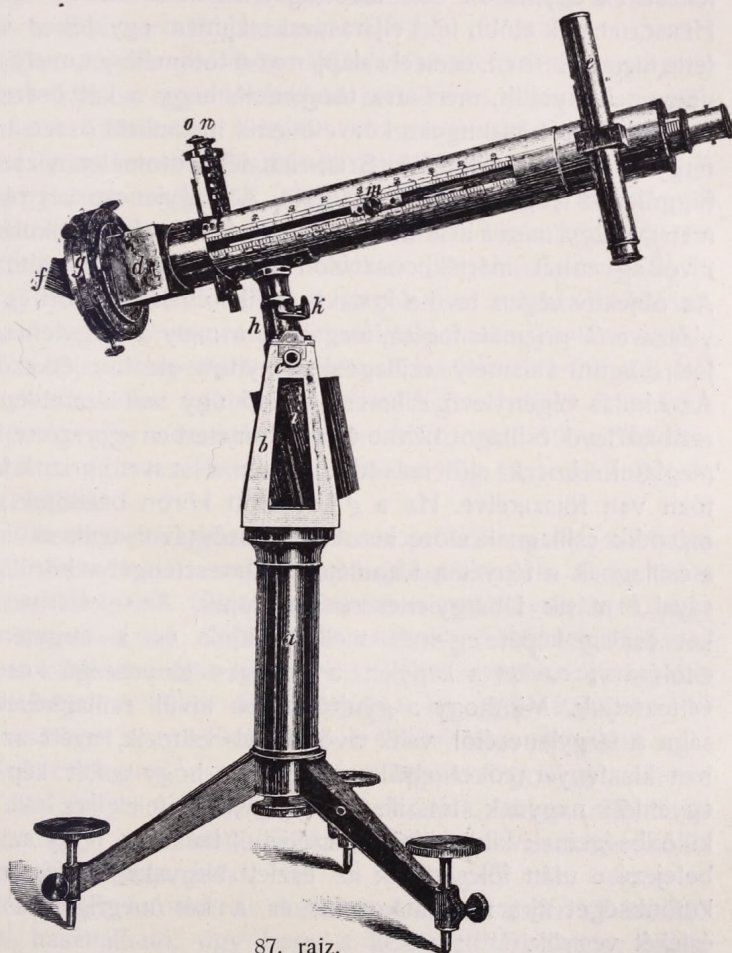
egyensúlyban. A fadarabon csap körül forgatható háromszögű deszka foglal helyet, melyre teljesen visszaverő prizma van erősítve. Zsinórok segítségével ezt a deszkát úgy lehet állítani, hogy oldalt fekvő fényforrásból, pl. a Holdról jövő fény, merőlegesen esik az  $F$ -nél levő rövid gyújtótávolságú lencsére. HERSCHEL a Holdat használta összehasonlító fényforrássul, a melyről a lencse  $F$ -ben igen kicsiny, majdnem pontszerű képet hoz létre, melyet mesterséges csillagnak tekinthetünk. Ha most  $A$ -ból arra a csillagra tekintünk, a melyre a műszert irányítottuk, akkor úgy ezt, mint a mesterséges csillagot egyszerre látjuk. Az utóbbinak fényességét úgy módosíthatjuk, hogy a műszert a hengeren eltoljuk, és így a mesterséges csillagnak a szemtől való távolságát addig változtatjuk, a míg a mesterséges csillag fényessége egyenlő a valóságos csillag fényével. Ezután leolvassuk a  $F$  és a szem között való távolságot. Ha ez megvan, akkor a fotométert valamelyik második csillagra irányítjuk, ismét előállítjuk a mesterséges és a valódi csillag fényének egyenlőségét, leolvassuk az előbb említett távolságot, és akkor a két csillag fényessége olyan arányban lesz, mint a két leolvasott távolság négyzete.

Itt először ismerkedünk meg oly elrendezéssel, a melynél a két összehasonlítandó fényforrást nem lehet közvetlenül összehasonlítani egymással, hanem mindegyiket egy harmadik fényforrással kell összehasonlítani, t. i. a mesterséges csillaggal, a melynek ismeretlen fényessége a két csillag fényességének viszonyából kiküszöbölődik.

Nem tekintve a HERSCHEL-féle fotométer kezdetleges szerkezetét, még sok egyéb hibája is van. A hibák közül legfőbb az, hogy csak holdvilágos éjjeleken lehet vele észlelni.

A STEINHEIL-féle prizmás fotométer (87. rajz). Távcső tárgylencsével a gyújtópontban egyesítjük a valamely csillagból érkező fényt. Ez a gyújtópont csúcsa annak a fénysugarak alkotta kúpnak, a melynek alapja a tárgylencse. Ha ezt a kúpot az optikai tengelyre merőleges sikkal metszszük, akkor geometriai megfontolás alapján könnyen belátható, hogy a sík metszése által keletkezett kör átmérője úgy aránylik a tárgylencse átmérőjéhez, mint a gyújtóponttól való távolsága a tárgylencse gyújtótávolságához. A kör és a tárgylencse területe ennél fogva úgy viszonylanak, mint e távolságok négyzetei. Minthogy a kisebbik felületű körön

át pontosan ugyanaz a fénymennyiség hatol, mint a tárgylencsén át, azért a felületi fényességeknek is úgy kell viszonylaniok, mint a két távolság négyzeteinek. Ugyanez történik akkor is, ha a



87. rajz.

tárgylencsét figyelmen kívül hagyjuk és a kúpnek két, tetszés szerinti körmetszetét tekintjük. Ilyféle fényfelületeket a megfigyelésnek könnyen lehet hozzáférhetővé tenni, ha a távcső szemlencsáját hozzuk a fénykúphoz. Ebben az esetben annak a képzelt metszősíknak felületi fényességét látjuk, a mely az okulár előtt



a rendes látás távolságában van, azaz a csillagot mint körlapot látjuk. A távolságok négyzetének törvényét ennél fogva arra az esetre is alkalmazhatjuk, mikor távcsőnél a tárgylencsének és a szemlencsének egymástól való távolságát mérhető módon változtatjuk. HERSCHEL-nek előbb leírt eljárásával majdnem egyidőben szerkesztette meg STEINHEIL ezen elv alapján az ő fotométerjét, mely azonban nagyon bonyolult, mert arra törekedett, hogy a két összehasonlítható csillagot csakugyan közvetetlenül hasonlítsa össze harmadik tárgy segítségével nélkül. A STEINHEIL-féle fotométer vízszintes és függőleges tengely körül forgatható. A tárgylencse két részre van metszve, úgy, mint a héliométernél; a két félnek a közös okulártól való távolság  $m$ -nél mértékbeosztáson mérhető módon változtatható. Az objektív végen levő  $d$  kocka egyik oldalán nyitott és teljesen visszaverő prizmat foglal magában, a mely a tárgylencse egyik felére vetíti valamely csillagnak a nyitott oldalon érkező fényét. Az okulár végén levő  $e$  kereső-távcső úgy van szerelve, hogy a szóban levő csillagot benne és a fotométerben egyszerre lehessen meglátni. A kocka előtt második, teljesen visszaverő prizma forgathatóan van felszerelve. Ha a  $g$  beosztott körön beállítjuk valamely második csillagnak előre kiszámított szögtávolságát, akkor ennek a csillagnak a fényét a fotométernek hossz tengelye körüli forgatásával a másik féltárgylencsére hozhatjuk. Az okulárban most a két csillag képét egymás mellett látjuk és a tárgylencsefelek eltolásával ezeket a képeket tetszőleges fényességű korongokká változtatjuk. Minthogy a gyújtóponton kívüli csillagképek nagysága a tárgylencsétől való távolsággal változik, azért az okulárban kis fényernyőket alkalmaznak, úgy hogy a két kép mindig egyenlő nagynak látszik. A tárgylencsefelek és a prizmák különbségeinek kiküszöbölése céljából tanácsos, hogy az észlelés befejezése után fölcseréljük az észlelt tárgyakat, a fényességbeli különbséget újra meghatározzuk és a két megfigyelés közepes értékét vegyük.

Ügyes megfigyelő kezében, mint a minő SEIDEL volt, a műszer jó eredményeket szolgáltatott, azonban a műszernek lényeges hibái vannak, a milyenek pl. a műszer bánásmódjának bonyolultsága, különösen pedig az a fényvesztés, mely akkor áll elő, mikor a csillagok képét koronggá szélesítjük.

2. A tárgylencseellenző elve szerint készített fotométerek. Már

a 235. lapon rámutattunk e módszernek arra a hiányára, a melyet az idéz elő, hogy különböző ernyők vagy ellenzők a csillag gyújtópontbeli képét megváltoztatják. Ha az elvet azonban felületek fényességének csökkentésére alkalmazzuk, akkor ez a hiba elmarad és a módszer kifogástalan.

A BOUGUER-féle *fotométer*. (Csak felületeknél használható.) Két távcső teljesen egyenlő tárgylencsével van ellátva. A gyújtósíkok helyén átlátszatlan ernyők és ezeknek közepén áttetsző papirossal leragasztott kis nyílások vannak. A papiros megvilágítása a tárgylencse nyílásától függ. Ez a nyílás körszektorernyővel változtatható. BOUGUER ezt a műszert arra használta, hogy az égbolt fényességét különböző helyeken összehasonlítsa. Példa: az I. tárgylencse a zenit felé, a II. tárgylencse a horizon felé van irányítva. A két papiroskorong megvilágításának egyenlővé tévése céljából a teljesen nyitott I. tárgylencse mellett a II. tárgylencsét  $100^0$ -ú nyílásra kellett letompítani. Ennélfogva a zenit és a horizon fényessége úgy viszonylanak egymáshoz, mint 100 a 360-hoz, más szóval az égbolt a horizonban 3,6-szer oly fényesnek látszik, mint a zenitben.

A HUMBOLDT-féle *fotométer*. HUMBOLDT és mások is közönséges tükrör-szextánszt használtak csillagfotométernek. A szextáns kis tükrére irányított távcső emelhető vagy süllyeszthető, úgy hogy a szextáns kis tükre — a melynek felső fele teljesen áttetsző és csak alsó fele tükröz — a tárgylencse kisebb-nagyobb részét eltakarja. A tükröz átlátszó felén keresztül közvetlenül valamely csillagot szemlélünk, míg a tükröz alsó részében valamely másik csillagnak visszavert képét látjuk. Azt, hogy a visszaverődés által milyen fénygyöngyülés keletkezik, akként állapíthatjuk meg, hogy *egy* csillagnak közvetlen és visszavert képét hasonlítjuk össze egymással.

A héliométer fotometriai mérések céljaira szintén különböző módokon használható, úgy hogy a kettészelt tárgylencse egyik, vagy mindkét felét szabályozható fényernyőkkel látjuk el. Mint-hogy a két tárgylencserész csak nagyon kevésbé tolható el egymáshoz képest, ezzel a műszerrel csak egymáshoz közel levő csillagok intenzitását lehet összehasonlítni.

A SCHWERD-féle *fotométer*. A SCHWERD-féle fotométer egy nagyobb, parallaktikusan fölállított távcsőből és egy másik kisebb



távcsőből áll, mely a nagyobbiknak okulár-végén csuklóval van odaerősítve, oly módon, hogy a két távcső szolgáltatja kép közös okuláron át szemlélhető. A fény gyengítését itt is sugárkúpot szűkítő ernyővel érjük el, de SCHWERT a tárgylencse és az okulár közé eltolható lencsét helyezett el, hogy ezáltal az ernyőktől származó hibákat elkerülje. Ennek és még más berendezéseknek segítségével a műszer oly bonyolulttá lett, hogy gyakorlati alkalmazása lehetetlenné vált.

A SEARLE-féle fotométer. Csak egymáshoz közel álló csillagok vizsgálására alkalmas. A tárgylencse előtt ékalakúra csiszolt üveglemez van eltolhatóan elhelyezve, vagyis nagyon kicsiny törésszögű prizma. Egy csillagról ennél fogva két kép keletkezik, a melyek közül az egyik ugyan színekép, de ez oly rövid, hogy alig ismerhető fel. A két kép fényessége attól függ, hogy milyen arány van a fedett és a fedetlen tárgylencse területei között. Egymás mellett igen közel álló két csillag négy képet szolgáltat, közülök kettő-kettő mindig egyenlő fényességűvé tehető.

3. *Forgó korongok elvén alapuló fotométer.* Az előbb említett általános megjegyzések alapján a kivágással ellátott forgó korongok elve annyiban kifogástalan, amennyiben a kivágások nagyok, viszonyítva a gyöngítendő sugárkévekhez. Ha azt akarjuk, hogy a műszer ne legyen túlterjedelmes, akkor a korongot nem fogjuk távcső tárgylencséje előtt alkalmazni, hanem oly helyen, a melyen a fénykúp keskeny, tehát a gyújtósíkok közelében. Mennél nagyobb a fény és az árnyék másodpercenkénti változása, annál egyenletesebb és zavartalanabb a hatás. 15—20 változás másodpercenként az itt szükséges alsó határ. Ha a korongon több kivágás van, pl. 6, akkor kevesebb forgás is elégséges másodpercenként, az említett esetben 3 vagy 4. Ha csak egyetlen kivágás van, akkor a forgás sebességének arányosan nagyobbak kell lenni, tehát körülbelül 15 vagy 20 forgás másodpercenként.

A fényerőnek kellő fokra való gyöngítése céljából egymásután több különböző korongot használhatunk különböző nyílásokkal. A legkényelmesebb, ha oly korongot használunk, melynél a nyílás nagysága változtatható. Ily változtatható nyílást pl. úgy kaphatunk legegyszerűbben, ha két korongot, melyeken körszektoralakú kivágás van, eltolhatóan kapcsolunk össze egymással. Vékony sugárkéveknél nagyon kényelmes, ha a kivágást nem kör-

szektoralakúra csináljuk, hanem olyan alakot választunk, hogy a nyílás viszonya a  $360^0$ -hoz a korong forgástengelyétől való távolsággal bizonyos törvény szerint változzék. Ilyenféle berendezéssel a fotografiai fotométriáról szóló fejezetben fogunk megismerkedni. Az elmondottak szerint a forgó korongok alkalmazása rendkívül sokoldalú és nagyon ajánlható. Valóban már számos fotometriai vizsgálatnál alkalmazták, a nélkül, hogy azért a műszert fotométernek nevezhetnők, éppen mert a szerkezet túlegyszerű.

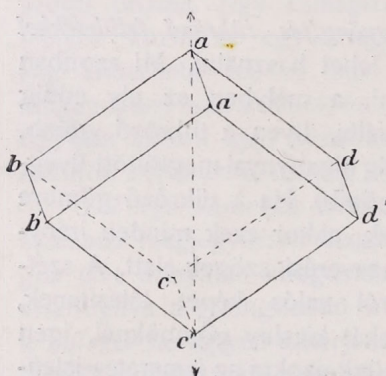
4. *Fotométer, melynél a fénygyöngítés elnyelő közeggel történik.* Ezt az elvet majdnem csupán az extinkciós fotométereknél alkalmazták, a tulajdonképeni fotométereknél a gyakorlatban nem használták.

5. *Fotométer, melynél a fénygyöngítés tükröző felületekkel történik.* Ezt az elvet több esetben lehet használni. Mi azonban csak azt az esetet fogjuk tárgyalni, a melyben az elv eddig egyetlen gyakorlati alkalmazását találta. Ilyen a tükröző gömb. Leginkább belül ezüstözött, vagy pedig higanynyal megtöltött üveg-gömböket használtak (thermométergömb). Ha a tükröző gömbre valamely fényforrásról sugarak érnek, akkor ezek minden irányban visszaveretnek a megfelelő visszaverési szögek alatt. A szét-tartó visszavert sugarak a tárgyról valós képet létesítenek, mely erős görbületű felületeknél, tehát kicsiny gömböknél, igen közel fekszik a gömbhöz. Emlékezzünk azokra az ismeretes jelenségekre, melyeket a virágos kertekben használni szokott tükröző gömbökön tapasztalhatunk. A kép nagyon kicsiny, úgy hogy csekély terjedelmű tárgyaknál — minő pl. a Hold vagy a Nap látszó nagysága — pontnak látszik. A keletkező képek fényerejének elméleti vizsgálatába itt nem bocsátkozunk. Ezek a vizsgálatok egyszerű törvényekre vezetnek abban az esetben, ha a fényforrás igen nagy távolságban van. Ekkor a fényesség egyenesen arányos a gömbsugár négyzetével és fordítva arányos a gömbnek a fényforrástól és az észlelőtől való távolságának négyzetével.

Ennek az elvnek az alkalmazása mindenekelőtt a Nap fényerejével való összehasonlításoknál ajánlatos, mert segítségével lehetséges a Nap túlságosan erős fényének tetemes gyöngítése. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy visszaverődés alkalmával mindig fényvesztéség következik be, melyet előbb kísérleti úton kell meghatározni.



A tükröző gömbök használata magában véve oly egyszerű, hogy ilyen külön fotométerek leírása itt céltalan volna. E helyett számbeli példával akarunk szolgálni. Például annak meghatározása lenne a feladat, hogy a Hold összfényessége hányiszorta nagyobb a Capella csillag fényénél. A Hold pontszerű képét kicsiny, 1 cm átmérőjű gömbön szemléljük, a Capella csillagképét pedig nagyobb pl. 10 cm átmérőjű gömbön. A nagy gömbnek az észlelő szemtől való állandó távolsága legyen 2 m. A kis gömböt, mely a Hold fényét veri vissza, segédünk mindig messzebb viszi a nagy gömb irányában, úgy hogy a két képet egyszerre lehessen látni. Az eredetileg sokkal fényesebb Holdkép e közben mindinkább



88. rajz.

veszt fényességéből. Végül mikor a kis gömb 50 m-nyire van, a két kép egyenlő fényesnek látszik. A két gömb sugara úgy aránylik, mint 1 : 10, négyzeteik tehát, mint 1 : 100, és ilyen arányban van a két kép is. A kisebbik gömb távolsága 25-ször akkora, mint a nagy gömbé, ennél fogva a megfelelő képek megfordítva  $25 \times 25 = 625$ -ször gyöngébbek. Együttesen tehát a Hold képének gyöngítése 62 500-szoros és ennyiszerte erősebb a teli Hold fénye a Capella

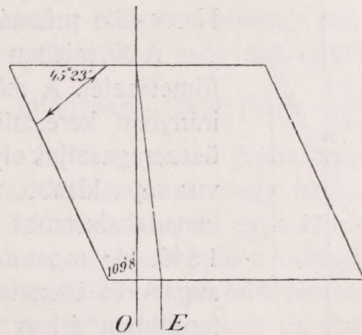
csillag fényénél. Ennél a számításnál azzal a föltevessel éltünk, hogy a két tükröző gömb visszaverőképessége azonos.

6. *Fotométerek, melyek a polarizáció segítségével történő fénygyöngítés elvén alapszanak.* Ennél az elvnel felhasználhatjuk a polarizáció előidézésének különböző módszereit. Egy ilyen módszert, t. i. az üveglemezen való visszaverődés módszerét behatóan tárgyaltuk az első fejezetben a 33. lapon, mikor a fény sarkításáról általában szóltunk. Ott említettük annak a másik fontos módszernek főbb elveit is, mely a fénynek egytengelyű kristályokban történő kettős törésén alapszik. Gyakorlati alkalmazásáról itt kissé behatóbban kell szólanunk.

A mészpát vagy izlandi pát igen tiszta darabokban található, és minthogy kettősfénytörőképessége igen nagy, mintegy 20-szor

erősebb a még tisztább hegyikristálnál, ezért főleg a polarizáció céljára használják. A fény-sarkítás jelenségeit itt lehetőleg röviden fogjuk tárgyalni, de mégis olyan mértékben, amennyire ez a megértéshez szükséges.

Ha mészpátot természetes hasadási lapjai szerint hasítunk széjjel, romboédereket kapunk (88. rajz). Az optikai tengely az  $a$  és  $c$  sarkokon megy át. Ezekben a sarkokban az élszögek egyenként  $105^{\circ} 5'$ -et tesznek ki. Ha az  $abcd$  természetes hasadási felületet akarjuk optikai határfelületnek használni, akkor a főmetszősík a kisebbik  $ac$  átlón és  $cc'$  élen megy keresztül. A főmetszet síkja paralelogramma (89. rajz). Az  $a'ac$  szög  $109^{\circ} 8'$ -et tesz ki, az optikai főtengely,  $ac'$  (a rajzban a nyíllal ellátott vonal) a  $abcd$  síkhoz  $45^{\circ} 23'$ -nyi szög alatt hajlik.



89. rajz.

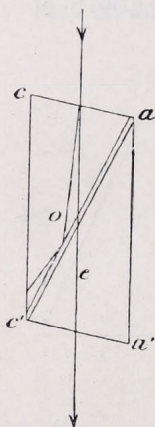
Ha valamely sugár merőlegesen esik az  $abcd$  síkra, akkor az u. n. rendes sugár eltérítés nélkül megy a kristályon keresztül (a rajzban  $O$  felé), a rendellenes sugár pedig a tengelytől eltávolodik és a rendes sugárral  $6^{\circ} 12'$ -nyi szöget zár be. A kilépésnél ismét ellentett irányban térítődik el (a rajzban  $E$  felé), úgy hogy  $O$ -val ismét párhuzamosan halad, de ettől oldalt eltolva.

Ha természetes fény merőlegesen esik a mészpát valamely hasadási felületére, akkor két, egyenlően világos képet kapunk, melyek akkor is egyenlő fényességűek maradnak, ha a kristályt a beesési merőleges körül mint tengely körül forgatjuk. A rendellenes sugár e közben a kristályon kívül hengerpalástot ír le. Ha a kristályt ebben az alakjában polarizátorként használjuk és ha a sugarakat hasonló módon egy második kristálydarabon át bocsátjuk, mely analizátorként szolgál, akkor végül négy sugarat kapunk, mert minden sugár két új sugárra különül szét. Ez a négy sugár páronként egyenlő fényességű, de az egyes párok külön-külön általában egyenlőtlen fényerejűek. Csak akkor egyenlő fényességű mind a két pár, ha a két kristály főmetszete  $45^{\circ}$ -nyi



szöget zár be egymással. Ha a főmetszetek egymással párhuzamosak, akkor az egyik pár fényereje nulla, míg a másiké maximum. Ha a két főmetszet egymásra merőlegesen áll, akkor megellenkezőleg a második pár tűnik el és az elsőnek van maximuma. A második kristálynak — az analízátornak — forgatása által tehát abban a helyzetben vagyunk, hogy a fényt fotométriái célokra a fényesség maximumától egészen nulláig gyöngíthetjük.

A négy kép jelenléte gyakran zavaróan hat. Ezért oly eljárások után kutattak, a melyeknek segítségével a polarizátorból kilépő két sugár egyikét el lehessen tüntetni, úgy hogy végül csak *egy* sugár lép ki, melynek fényességét az analízátor forgatásával változtatjuk. Ezt legjobban a feltalálója után NICOL-féle prizmának nevezett műszerrel érhetjük el.



90. rajz.

A 90. rajzban jelölje  $acc'a'$  hosszú mészpátdarab főmetszetét. A mészpátot a főmetszetre merőleges  $ac'$  irányban keresztülmetsszük és a két darabot ismét összeragasztjuk oly réteget téve közzéjük, melynek törésvisszonya kisebb, mint a rendes sugáré. Erre a célra kanadabalzsamot használnak, melynek törésmutatója 1.549. Ha most az oldalapokkal párhuzamosan belépő sugár két összetevőre bomlik, akkor a rendes sugár ferdébben éri az elválasztó réteget, mint a rendellenes sugár, ott teljesen visszaverődik (a rajzban  $o$ -nál), oldalt kitér és vagy kilép a kristályból, vagy pedig a fekete oldalfelületek elnyelik. A rendellenes sugár azonban az elválasztó felületet a teljes visszaverődés szögénél kisebb szög alatt találja, ezért az elválasztórétegen keresztül hatol s a másik prizmán át ismét folytatja útját. Ez még oly sugarakra nézve is áll, a melyek a hegyesebb oldal felől  $15^\circ$  alatt, a tompább oldal felől pedig  $19^\circ$  alatt érkeznek, úgy hogy a hasznosítható látómező mintegy  $34^\circ$ -ot tesz ki. A NICOL-féle prizrát az által tehetjük még valamivel hatásosabbá, ha a természetes hasadási felület helyett, mely a hosszoldallal  $70^\circ 52'$ -nyi szöget zár be, új felületet csiszolunk, melynél ez a szög  $68^\circ$ -ot tesz ki.

A FOUCAULT-féle prizmánál az elválasztó felületek nincsenek kanadabalzsammal összeragasztva, hanem köztük vékony levegőréteg van hagyva. Minthogy a teljes visszaverődés szöge ebben az esetben  $37^\circ 12'$ , azért a prizrát sokkal rövidebbre lehet szabni,

amivel a drága anyagot megtakaríthatjuk. De ezzel szemben a látómező  $8^\circ$ -kal csökken, úgy hogy némely célra kevésbé jó, mint a NICOL-féle prizma.

Ha fénygyengítést a polarizáció elvének alkalmazásával akarunk elérni, akkor az előbbiek alapján a legegyszerűbben két NICOL-féle prizrát alkalmazunk, a melyek közül az egyik, a polarizátor, mozdulatlanul marad, mialatt a másik, az analizátor, tengelye körül mérhető módon elforgatható. Erre a célra a prizmára beosztott kört erősítünk, melynek állása nóniusz vagy index segítségével leolvasható. Ha a második prizma főmetszete a polározás síkjával párhuzamos, akkor a fény maximuma lép ki. Ha pedig ez a szög  $90^\circ$ -ot tesz ki, akkor fénykilépés nincs. Az elmélet azt tanítja, hogy a közbeneső szögeknél a fény intenzitása e szögek cosinusának négyzetével arányos. Ha pl ez a szög  $60^\circ$ , akkor  $\cos 60^\circ = \frac{1}{2}$ , az átbocsátott fény intenzitása tehát  $(\frac{1}{2})^2 = \frac{1}{4}$ .

A ROCHON-féle prizmánál úgy a rendes, mint a rendellenes sugár lép ki. Két derékszögű mészpátkristályból vagy hegyikristályból áll, a melyek az átfogósfelülettel vannak egymáshoz ragasztva. Az egyik prizmában a főtengely merőleges a belépés felületére, a másikban párhuzamos a törőélel. A második prizma két, egymásra merőlegesen polarizált sugárra bontja szét az első prizmán keresztül ment sugarat. A rendes sugár eltérítés nélkül lép ki, a rendellenes sugár azonban el van térítve s azonkívül színes is, a mi e prizmának fotométriái célokra való használatosságát csökkenti.

Az ARAGO-féle fotométer az első, a melynél a polározás elvét felhasználták, még pedig üveglemezekről való visszaverődés alapján.

Állványra forgatható kar van szerelve, melyre egy cső van erősítve. Ebben a csőben nincsenek lencsék, hanem csak közvetlenül lehet rajta keresztül nézni és látómezeje meglehetősen szűk. A cső csap körül forgatható, az elforgatás pedig beosztott körön lemérhető. A csap fölött üveglemez van elhelyezve, mely egyszersmind merőleges egy áttetsző papírosból készült ernyőre. Az üveglemez két oldalán két vízszintes tű van elhelyezve, a melyek minden magasságban rögzíthetők. Ha a csövön át ferdén nézünk az üveglemezre, akkor egyszerre látjuk az ernyőnek egy részét, egy másik részének pedig a lemeztől visszavert képét. Azon a helyen,



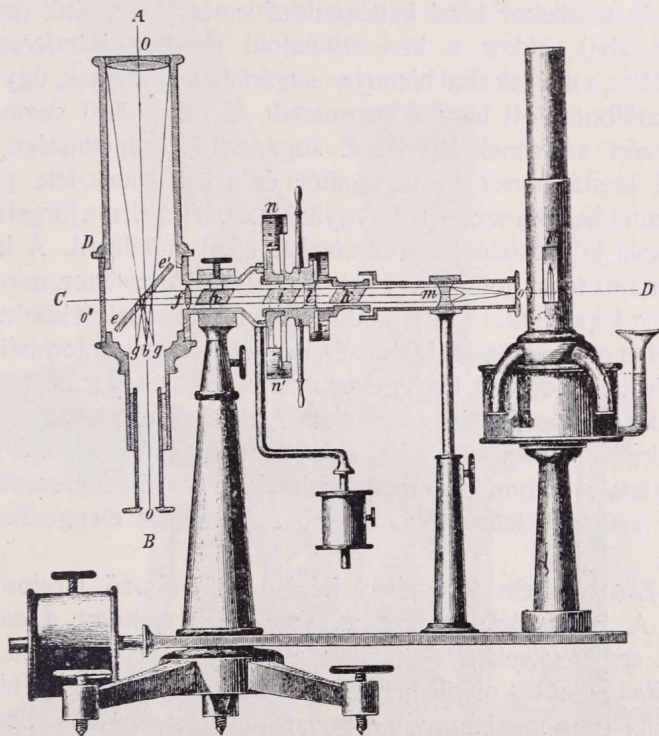
a hol az egyik tűnek a tükörképe jelenik meg, csak az ernyőtől érkező átbocsátott fényt látjuk, azon a helyen pedig, a hol a másik tű látszik az átbocsátott fényben, ott az ernyőnek csak a tükörképét fogjuk látni. A cső forgatásával a tükrözött fény a polározás következtében változik. A csövet ennél fogva úgy kell állítani, hogy a két tű egyenlő fényességűnek lássék. Visszatükrözött és átbocsátott fény ekkor egyenlő. ARAGO kettősen törő kristályokat használt arra, hogy az átbocsátott és visszatükrözött fény mennyiségét különböző szögek számára egyszer s mindenkorra meghatározza. Ennél a fotométernél két fényforrás összehasonlítása az által történik, hogy az ernyő mindegyik felét külön egy-egy fényforrással világíttatjuk meg.

ARAGO ezenkívül a fénysarkítás elvén alapuló több más fotométer szerkezetet is hozott javaslatba, a melyeket azután későbbben más fizikusok fel is használtak.

A ZÖLLNER-féle *fotométer* különösen asztrofizikai célokra talán valamenyi fotométer között a legtokéletesebb és különböző módosításokkal kiterjedt alkalmazásnak örvend. Ezt a műszert ezért itt kissé részletesebben kell leírunk. A 91. rajzon abban az alakban látjuk ezt a fotométert, a melyet neki ZÖLLNER az állócsillagok fényének megmérése céljából eredetileg adott. A tulajdonképpeni fotométer a rajzon keresztmetszetben van feltüntetve. Ez a rész állványra, függőleges tengely körül forgathatóan van felszerelve. Az  $AB$  távcső azonkívül a  $CD$  tengely körül is forgatható, úgy hogy bármely tetszőleges csillagra irányítható. Az  $O$  tárgylencse által létesített  $b$  képe a csillagnak az  $o$  okuláron át a rendes látás távolságában látszik.  $ee'$  üveglemez, mely a távcsőtengelyhez  $45^\circ$  alatt hajlik, és a csillag fényének rajta keresztül kell mennie. A valódi csillag képét mesterséges csillagnak két képével ( $gg$ ) hasonlítjuk össze. A mesterséges csillagot a következő módon állítjuk elő.  $F$ -nél petróleumlámpa ég. A lámpa sehol fényt át nem bocsát, csak  $o'$ -nél van igen finom nyílás, a melyen át a láng fénye a távcsőbe hatolhat. A fény itt az  $m$  bikonkáv lencsén át halad, a mely a diafragma nyílását még kisebbiti, áthalad azután a polarizálásra szolgáló két közegen és végül az  $f$  gyűjtőlencse képpé egyesíti. Az egyesítés előtt a sugarak az  $ee'$  lemez két felülete által az okulár felé verődnek vissza és  $gg$ -ben két képet létesítenek. Az  $f$  lencse úgy van szerkesztve, hogy a  $gg$  és  $b$  képek

egy síkban feküdjenek, hogy tehát az okulárban egyszerre legyenek élesen láthatók. A távcsövet úgy irányítjuk, hogy a valóságos csillag a két mesterséges csillag közé kerüljön.

A polarizálásra való elrendezés a következő részekből áll: Polarizátornak egyszerű NICOL-féle prizma is elég lenne. A ZÖLLNER-féle fotométernél azonban a polarizátor két egyenlő irányú NICOL-



91. rajz.

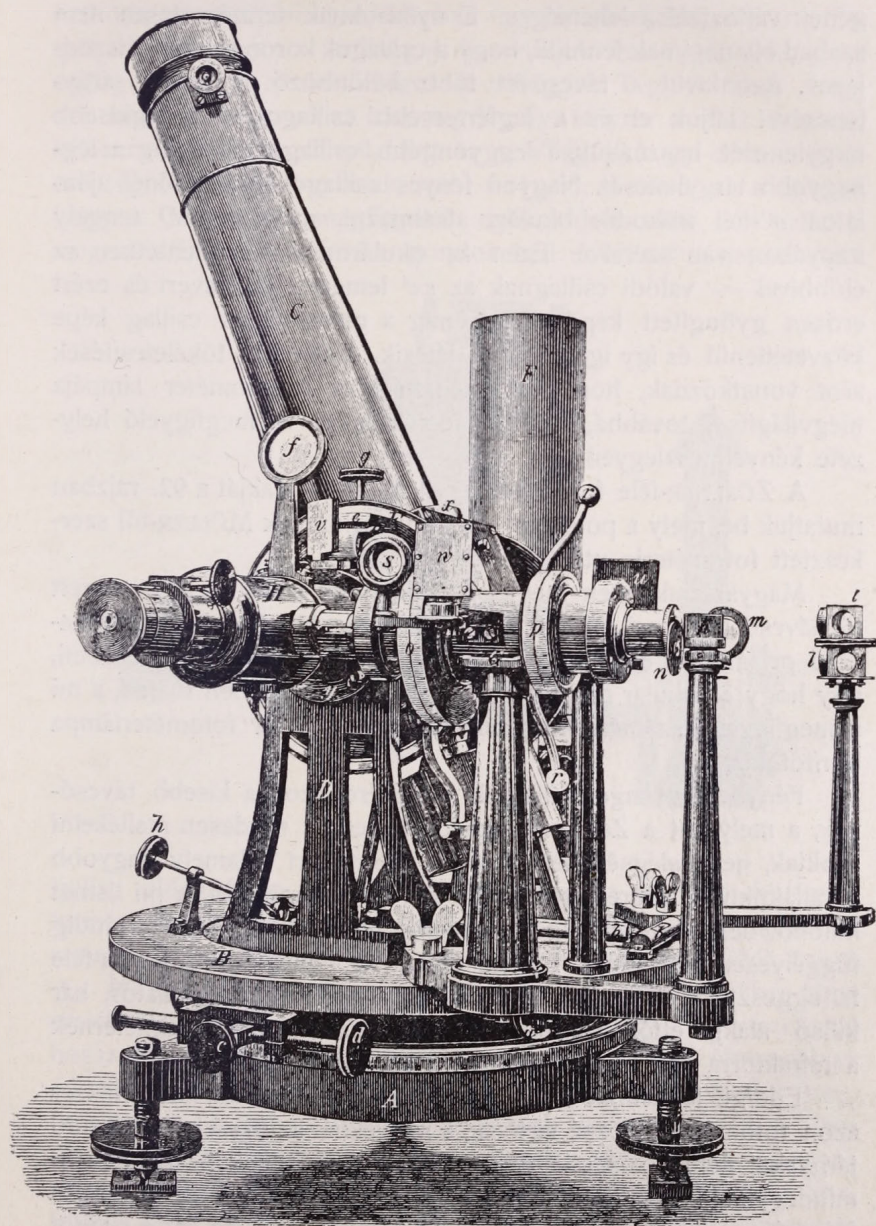
ból,  $i$ -ből és  $k$ -ből áll, a melyek között az  $l$  hegyikristálylemez foglal helyet. Azt, hogy ennek mi a különös célja, rögtön el fogjuk mondani. A  $h$  NICOL-féle prizma a tengely csővében mozdíthatatlanul van beerősítve, úgy hogy az  $ee'$  lemezhez képest mindig ugyanazt az irányt tartja meg, még pedig nagyobb fényesség elérése céljából oly módon, hogy a főmetszet a lemezre merőlegesen álljon (rajzunkban tehát a rajz síkjában fekszik). A  $h$ -nak ez a változhatlan helyzete azért szükséges, mert különben a táv-



csőnek a vízintes tengely körül való forgatásával megváltoznék a visszaverődés erőssége az  $ee'$  lemezen. Az analizátor helyett ennél fogva itt a polarizátor forgatható. Az elforgatás nagyságát az  $nn'$  körön lehet leolvasni.

Annak, hogy a polarizátor miért van összetéve két prizmából és egy hegyikristálylemezéből, az oka a következő. Ha a polarizátor és analizátor közé kettősentörő lemezt helyezünk (például hegyikristályt), akkor a keresztülhatoló fényben interferenciák jönnek létre, a melyek által bizonyos sugárfajták kioltatnak, úgy hogy a keresztülbocsátott fény a megmaradt, ki nem oltott sugarakból áll és ezért színesnek látszik. E sugárkioltás minéműsége függ a hegyi kristálylemez vastagságától és a két NICOL-féle prizma főmetszetei bezárta szögtől. Az egyik NICOL-féle prizma forgatásával ennél fogva különböző keverékszíneket lehet előállítani. A legelől levő  $k$  prizma tehát polarizátorként szerepel az  $i$  prizmához, mint analizátorhoz képest; ez a  $k$  forgatható és helyzetét beosztott körön szintén le lehet olvasni. Ez az elrendezés, melyet ZÖLLNER koloriméternek (színmérőnek) nevezett, lényegében arra szolgál, hogy a mesterséges csillagnak a közepes csillagszínnek megfelelő színezetet adjon, mely kissé sárgás. Alkalmazása azért előnyös, mert amint azt már megállapítottuk, a fotométeriai megfigyeléseknél az összehasonlítandó tárgyak színének lehető legnagyobb egyenlősége elengedhetetlen feltétel.

A ZÖLLNER-féle fotométert később különböző módon javították. A javításoknak főleg az volt az oka, hogy a sarkítás elvének segítségével gyakorlatilag nem lehet tetszőlegesen nagy fényerősségek közöket mérni. Elméletileg ugyan lehetséges a fényességet bizonyos maximumtól egészen nulláig gyöngíteni, de mint-hogy a fényerősség a forgás cosinusának négyzetével fogy, azért könnyen be lehet látni, hogy amikor a gyöngítés már nagyon erős, akkor már a legkisebb forgás is igen erős fénygyöngítést idéz elő, úgy hogy akkor sem a beállítás, sem a leolvasás nem olyan pontos, mint aminőnek lennie kellene. A gyakorlatban tehát a mérésre alkalmas köz korlátoknak van alávetve és ezért szükséges, hogy a fotométer mindenkor feladatához képest a tárgyak fényességéhez tudjon alkalmazkodni. Erre a célra a  $o'$  diafragma helyett több, különböző átmérőjű kicsiny nyílásokkal ellátott korongot használunk, a mi által a mesterséges csillag maximális fényessé-



92. rajz.



gének változtatása lehetséges. E nyílásoknak természetesen nem szabad oly nagyok lenniök, hogy a csillagok korongoknak látszódnak. Azonkívül a távcsövet több különböző nagyságú tárgylencsével látjuk el és a legfényesebb csillagoknál a legkisebb tárgylencsét használjuk, a leggyöngébb csillagoknál pedig a legnagyobb tárgylencsét. Nagyon fényes csillagok észlelésénél ajánlatos  $o''$ -nél második okulárt alkalmazni, mely a  $CD$  tengely irányában van szerelve. Ezen az okuláron át — ellentétben az előbbivel — valódi csillagnak az  $ee'$  lemezről visszavert és ezért erősen gyöngített képét látjuk, míg a mesterséges csillag képe közvetlenül és így igen erősen látszik. A további tökéletesítések arra vonatkoznak, hogy az intenzitáskört a fotométer lámpája megvilágítsa, továbbá, hogy a leolvasás és a megfigyelő helyzete kényelmes legyen.

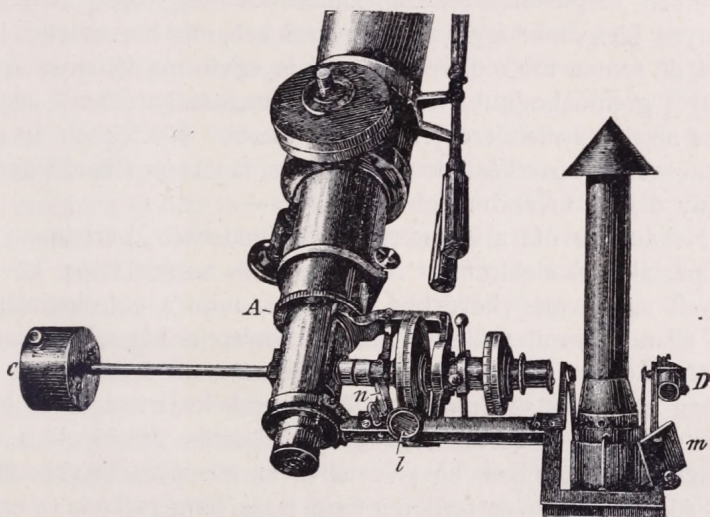
A ZÖLLNER-féle fotométer egyik modern alakját a 92. rajzban mutatjuk be, mely a potsdami obszervatóriumnak MÜLLER-től szerkesztett fotométerje után készült.

Magyarázatképpen megjegyezzük, hogy a távcső úgynevezett törttávcső. A távcső és a tengely találkozási helyén teljesen visszaverő prizma van elhelyezve, mely a fényt a tengely csővébe vetíti, úgy hogy az okulár mindig ugyanabban a helyzetben marad, a mi a megfigyelő számára nagyon kényelmes.  $F$  a fotométerlámpa borítótokja.

Fényben gyenge csillagok mérésére azok a kisebb távcsövek, a melyeket a ZÖLLNER-féle fotométerhez rendszeren mellékelni szoktak, nem elégségesek. Ezért a fotométert valamely nagyobb parallaktikusan szerelt távcsővel kell összekapcsolni, a mi ismét különös berendezéseket igényel, mert a petróleumlámpának mindig függélyesen kell állnia. Elvben ehhez az ismeretes CARDANI-féle felfüggesztést alkalmazzák, amint az a hajókon használatos, bár külső alakja ettől nagyon eltér. A ZÖLLNER-féle fotométernek a refraktorra való szerelés módját a 93. rajzon láthatjuk.

Eddigi leírásunkból kitűnik, hogy a ZÖLLNER-féle műszer azon fotométerek közé tartozik, a melyeknél az összehasonlítható tárgyakat nem közvetlenül egymással hasonlítják össze, hanem mindegyiket külön-külön mesterséges fényforrással. A legfontosabb fotométer leírása alkalmával talán helyénvaló lesz, ha ezt a pontot kissé behatóbban tárgyaljuk. Tegyük föl, hogy  $a$  csillagot  $b$  csillaggal

kell összehasonlítani. A valóságban úgy járunk el, hogy az *a* csillagot a mesterséges *x* csillaggal hasonlítjuk össze és azután a *b* csillagot szintén a mesterséges *x* csillaggal. Tegyük fel pl. hogy azt találtuk, hogy az *a* háromszor oly fényes, mint *x*, *b* pedig kétszerte gyöngébb fényű, mint az *x*. Világos, hogy *a* és *b* fényerősségei úgy viszonylanak, mint 6:1. Itt azonban az a föltétel, hogy *x* fényereje a megfigyelés egész ideje alatt változatlanul megmaradt, ezért különös gondot kell fordítani a mesterséges



93. rajz.

csillag előállítására szolgáló fényforrásra. Az itt talált föltételek természetesen mindazon fotométerekre mértékadók, a melyeknél a megméréendő fényforrásokat nem közvetlenül hasonlítják össze.

Minthogy általában nemcsak két, hanem számos csillag fényerejét kell összehasonlítani, azért a mesterséges fényforrásnak hosszabb időtartamon keresztül kell megtartania fényerejének állandóságát. Már volt alkalmunk megismerkedni azokkal a fényforrásokkal, a melyek olyan állandóknak tekinthetők, hogy mindig ugyanazt a fényerőt szolgáltatják. De ezek a normál-fényforrások a már említett okokból kevésbé alkalmasak arra, hogy erős lég húzamnak kitett kupolában használtassanak. Ebben a tekintetben egyetlen kivétel a benzinlámpa. ZÖLLNER



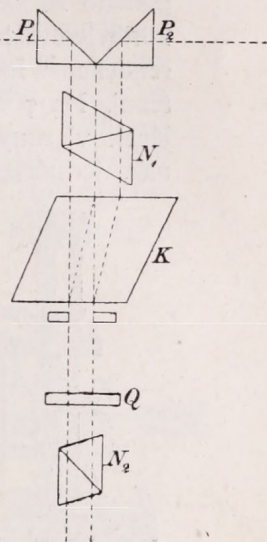
nem is törekedett ilyféle állandóságra, mert teljesen elégséges, ha a fényforrást  $\frac{1}{2}$  vagy 1 órán át állandónak tekinthetjük, mert ennyi ideig tart rendszeren egy-egy megfigyelési sorozat. Az egyes megfigyelési sorozatok között az összeköttetést valamennyivel közös harmadik tárgy által tarthatjuk fenn; ilyen közös fényforrás lehet akár valamely normállámpa, akár csillag. A ZÖLLNER-től választott kerek lángú petróleumlámpa, némileg óvatos bánásmód mellett valamennyi követelménynek eleget tesz. Ezen lámpának fényereje kezdetben meglehetősen erősen változik. A meggyújtás után tehát bizonyos ideig, mintegy  $\frac{1}{4}$  óráig várni kell, míg használatba lehet venni, de azután több órán keresztül is egyforma fénynyel éghet, ha arról gondoskodunk, hogy a láng magassága állandó legyen, a mire alkalmas ellenőrző jel szolgál. Később sötétebben ég a bél elszenesedése következtében, ezért nem tanácsos állandóságában néhány óránál tovább megbíznunk.

Néhány év óta a ZÖLLNER-féle fotométernél jó eredménynyel alkalmazták az elektromos izzólámpát. A normállámpa követelményeit ugyan még kevésbé elégíti ki, mint a petróleumlámpa, mert állandó áramfeszültség mellett fényereje két okból lassan de folytonosan fogy. A szénfonal t. i. az áram hatása alatt poralakban elszáll és az elröpített szénrészecskék az üveggörte belső falára rakódnak le és átlátszóságát csökkentik. Azonkívül a szén megkeményedik, minek következtében az ellenállás kisebbedik és azért állandó feszültség mellett a fonál izzási hőmérséklete és ezáltal fényereje is fogy. Hosszabb használat után a lámpa egyáltalán használhatatlanná válik és új lámpával kell kicserélni, melynek fényerejét csak külön vizsgálat alapján lehet az előbbi lámpa fényerejéhez hozzákapcsolni.

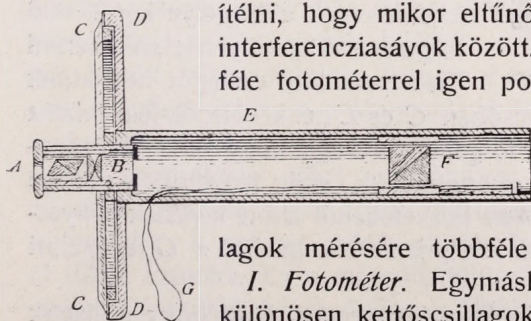
Az izzólámpa fényességének csökkenése azonban nem vehető észre néhány órán belül, amennyiben az áramforrás feszültsége nem csökken, a mi kis akkumulátortelegeknél könnyen előfordul. Ha pl. csak négy elem áll rendelkezésünkre nyolcz volt össz-feszültséggel, akkor természetesen tíz tizedrész voltnyi ingadozások észrevehetőek lesznek. Ha ellenben nagyobb telepeket használunk, pl. 110 volt feszültséggel, akkor tartalékelemek ki- vagy bekapcsolásával az áramingadozásokat  $\pm 1$  volt határok közé lehet szorítani. Az így keletkező ingadozások alig hatnak zavarólag. Ahol erősebb áramforrások állnak rendelkezésre, ott az elek-

tromos izzólámpa valószínűleg ki fogja szorítani a petróleumlámpát a fotometriás vizsgálatoknál. Az az előnye is latba esik, hogy refraktorra szerelt fotométernél nem igényel külön felfüggesztési módot, mint a petróleumlámpa.

A *Wild-féle fotométer* (94. rajz). Az összehasonlítható tárgyról érkező fénysugarak a  $P_1$  és  $P_2$  teljesen visszaverő prizmákra esnek, az  $N_1$  NICOL-féle prizmában sarkítást szenvednek és azután merőlegesen esnek  $K$  mészpát-romboéder egyik természetes lapjára. Egy diafragma akként van elhelyezve, hogy a  $P_2$ -től jövő fénynek csak rendkívüli sugarai, a  $P_1$ -nek pedig csak rendes sugarai bocsáttatnak keresztül. Az egymásra merőlegesen polarizált sugarak ezután a  $Q$  hegyikristálylemezben interferálnak és a második,  $N_2$  NICOL-féle prizmán keresztül látjuk az interferencia-sávokat. Ezek a sávok csak akkor tűnnek el, hogyha egyenlő mennyiségű egymásra merőlegesen polarizált fény lép ki, a mi az  $N_1$  prizma és a romboéder főmetszeteinek kölcsönös helyzetétől függ. A 238. lapon említett RITCHIE-féle fotométerhez hasonlóan itt olyan fotométert tanulunk megismerni, a melynél a fény egyenlőségét a szem csak kerülő úton becsüli meg, amennyiben azt kell megítélni, hogy mikor eltűnően kicsiny az ellentét az interferenciasávok között. Azt állítják, hogy a WILD-féle fotométerrel igen pontos eredményeket lehet elérni.



94. rajz.



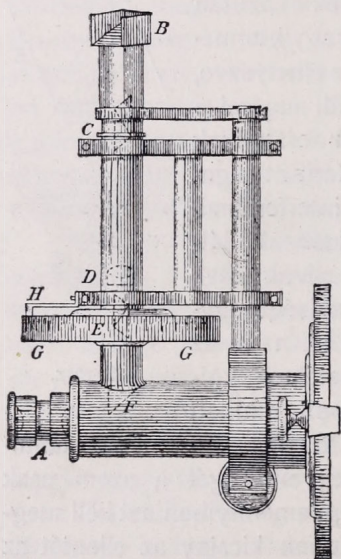
95. rajz.

A *Pickering-féle fotométer*. PICKERING különösen az állócsillagok mérésére többféle fotométert szerkesztett.

*I. Fotométer.* Egymáshoz közellevő csillagok, különösen kettőscsillagok számára. A refraktornak rendes okulárja helyébe a 95. rajzon bemutatott okulárt tesszük. Ebben az okulár és a tárgylencse között  $F$ -nél ROCHON-féle prizma van, a mely a csövön belül eltolható. A ROCHON-féle prizma segítségével két, egymáshoz



közelálló csillagról két-két kép keletkezik, melyeknek távolsága egymástól a prizma oltolásával változtatható. Az okulárban forgatható NICOL-féle prizma van, melynek elforgatása a  $C$  beosztott körön leolvasható. A NICOL-féle prizma forgatásával valamely csillag rendellenes képét egy másik csillag rendes képével egyenlővé lehet tenni. Ha  $\varphi$  a leolvasás eredménye, akkor a két csillag fényerejének viszonya egyenlő  $\operatorname{tg}^2\varphi$ -vel. Minthogy a képek kettéoszlanak, természetesen erős fénygyöngítés mutatkozik, úgy hogy a



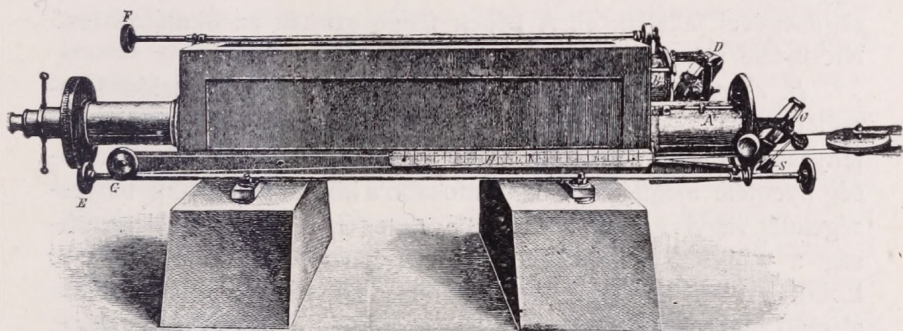
96. rajz.

műszer gyenge csillagok megfigyelésére nem alkalmas. Ilyenek számára s egyszersmind egymástól mesze levő csillagok megfigyelésére való a *II. fotométer*, melyet valamely nagy refraktorra kell szerelni. A gyöngé csillagot közvetlenül a nagy távcső okulárján át észleljük a látómező egyik felében. Az összehasonlításra szolgáló fényesebb csillag képét ellenben a látómező másik felében látjuk, ahová az  $F$  prizmán át vetítetik (96. rajz) miután fénye a  $B$  prizmán át a  $D$  tárgylencsével el látott oldaltávcsőbe került. A  $B$  prizmának forgatásával és az egész fotométernek a tengelye körül való forgatásával bármilyen tetszésszerűnti összehasonlító csillagot hozhatunk

az okulárba. Az oldaltávcsőben  $C$  és  $E$ -nél két NICOL-féle prizma van elhelyezve, az utóbbi forgathatóan, úgy hogy az összehasonlító csillag fényét addig gyöngíthetjük, amíg fényereje a gyenge csillagnak a nagy távcsőben közvetlenül látott képének fényességével egyenlő. A NICOL-féle prizma elforgatása a  $G$  beosztott körön leolvasható.

A PICKERING-féle *III. fotométer* arra szolgál, hogy csillagok fényét a délkörön való átmenetelükkor sorozatosan lehessen mérni, hasonlóan, mint a hogy meridián-műszerrel a csillagok pozícióját mérjük. A műszer képét a 97. rajz mutatja. MÜLLER szerint szerkezete a következő: Kelet-nyugati irányban fatok van

pillérekre szilárdan ráerősítve. A tok keleti végén két, *A* és *B* cső van elhelyezve, a melyekre 10·5 cm nyílású tárgylencsék vannak szerelve. E tárgylencsék előtt 45°-nyi hajlással a *C* és *D* ezüstözött üvegtükrök foglalnak helyet, melyek foglalatukban a tárgylencsék optikai tengelye körül forgathatók az *E* és *F* hajtórúdak segítségével. Ha a műszer helyesen van felállítva, akkor két körosztás segítségével közvetlenül beállíthatjuk a csillagok deklinációját. A déoldali tárgylencse (az *A* csőben levő) gyújtótávolsága 166 cm, míg az északié valamivel kisebb, t. i. csak 145 cm. Ezért kelet felé 21 cm-rel nyulik az északi tárgylencsén túl, s így a



97. rajz.

*C* tükör számára a meridián egész síkja szabadon áll. Az *S* csavar segítségével a *C* tükörnek hajlását a tárgylencséhez kis határok között változtathatjuk, hogy a megfigyelés közben az egyszer beállított csillagot a látómezőnek mindig ugyanazon helyén tarthassuk. Az *S* csavart az okulár felül több csigán át vezetett zsineg segítségével lehet mozgatni a *G* fogantyúval. A tükör mindenkor állása a tok egyik oldalapjára helyezett *H* léptéken leolvasható. A műszer másik oldalán hasonló berendezés van a *D* tükör számára. Ez a második tükör arra való, hogy valamely sarkkörüli csillag képét hozza a látómezőbe. Ezzel az állandó összehasonlító csillaggal hasonlítják azután össze a *C*-nél beállított csillagokat a délkörön való átmenetelük alkalmával. A műszer nyugati végén az okulárcsőben kettősen törő színtelenített mészpáprizma van a gyujtósík közelében elhelyezve.



Végül a szem és az okulár között még egy forgatható NICOL-prizma van, melynek helyzete a mozdíthatlan, kettősentörő prizmához képest beosztott körön leolvasható. A kettősentörő prizma egy üveg- és egy mészpátrészből áll, melyeknek szögeit akként választják meg, hogy a *C* segítségével szemlélt csillag rendes képe pontosan összeesik a *D* segítségével látott csillag rendellenes képével. A kettősentörő prizmának a gyújtóponthoz való közelsége által azt az előnyt érjük el, hogy a képek nagyon kevésbé színezettek, s hogy azonkívül ugyanazon tárgylencsétől származó rendes és rendellenes kép lehetőleg messze esik egymástól. A megfigyelésnél fel nem használt két képet az okuláron levő ernyő segítségével takarják el. A képek fénye szintén az okuláron levő NICOL-féle prizmának forgatásával gyöngíthető.

*II. csoport. Az extinkciós fotométerek.* Az extinkciós fotométereknél a fényegyenlőséget igen alacsony értékű abszolút fényesség mellett becsülik meg. Láttuk már, hogy az egyenlőség ilyenféle megítélése a legpontosabb a közepes abszolút fényességeknél, vagyis az úgynevezett kényelmes fényességeknél; a pontosság a nagyobb és a kisebb fényességeknél egyaránt csökken. Ebből azután könnyen megérthetjük, hogy a fénykioltás elvén alapuló fotométerek pontosság dolgában nem állhatnak első helyen. E fotométereknél a lényeges elv az, hogy a megméréendő tárgyak fényességét annyira gyöngítjük, hogy többé nem különbözik a háttértől, a melyre vetítve látjuk, más szóval e háttérhez való ellentétje eltűnik. Itt tehát az összehasonlító tárgy mindig a háttér, melynek e szerint ezeknél a fotométereknél különösen fontos szerep jut. A háttér lehet teljesen sötét, ha pl. a tárgy képe valamely zárt tér belsejébe vetítve látszik. De lehet még valamelyes észrevehető fényessége is, ha pl. háttérnek az égboltozatot használjuk, mely holdvilágos éjjeleken igen fényes lehet.

Mindazokban az esetekben, mikor a háttér absolute fekete, a megfigyelendő tárgyak a szemfeketeségre látszanak vetítve lenni, azaz valamely olyan gyenge világosságra, mely mindenféle fiziológiai hatásnak van alávetve és a melyet sem egyneműnek, sem időben állandónak nem tekinthetünk. A szemfeketetés még akkor is közreműködik, ha a valóságos háttér gyengén világít, mint pl. az égboltozat holdvilágtalan éjszakákon, a mi további ok arra, hogy a fénykioltás elvét ne tartsuk alkalmazásra túlságosan előnyös-

nek. A harmadik hátrányos körülmény akkor jelentkezik, ha a megfigyelendő csillagok messze esnek egymástól. Könnyebb megértés céljából ezt a következő durva példával világíthatjuk meg.

Az égboltozatot holdvilágos éjjelen egészben véve még némileg sötétnek tekinthetjük. De a Hold közelében az ég mindig erősen világos, úgy hogy itt távcsövön át is sokkal kevesebb csillagot látunk, mint más helyeken. A gyöngébb csillagokat ugyanis már fotométer nélkül is eloltotta a háttér nagyobb fényessége. Ennélfogva világos, hogy a Hold közelében a fotométerrel történő fénykioltásnak gyorsabban kell végbemennie, mint az ég egyéb helyein. Míg kiterjedtebb felületeknek eltűnése a háttérhez képest még némi biztossággal észlelhető, addig fényes pontok eltűnése hasonlíthatatlanul nehezebben ismerhető fel. Nem szenved kétséget, hogy ebben az esetben az eltűnést túlkorán gondoljuk észrevenni különösen akkor, ha nincs oly jelzőszerkezet, mely lehetségessé teszi, hogy segítségével a csillag helyét mindig újból megtaláljuk. Az olyan fotométerek tehát, melyeknél a képek eltűnnek, nagy mértékben fokozzák a megfigyelők egyéni észlelési különbségeit. A kép eltűnésénél, vagyis a fénykioltásnál végbemenő fiziológiai folyamatok mindenesetre igen bonyolultak és eddig még kevésbé ismeretesek.

Bár e kifogások jogosak, még sem tagadható, hogy a fénykioltás elve bizonyos körülmények között igen kényelmes és gyors eljáráshoz juttatja az észlelőt. Persze sohasem szabad figyelmen kívül hagyni a nagy elővigyázatot.

A fénykioltáson alapuló fotométereknél a fénygyöngítésnek csak két módját alkalmazzák, nevezetesen a diafragmás és az abszorbcziós módszert.

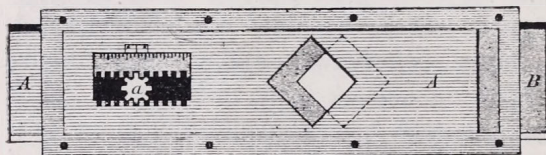
*A diafragma elvén alapuló extinkcziós fotométer.* Arra, hogy objektív előtti diafragma használatánál milyen hibaforrások merülnek fel, már a fotométereknél rámutattunk. Az extinkczió elvével kapcsolatban ezek az esetleges hibák még szaporodnak, mert általában erősebb fénygyöngítés lesz szükséges. Számos ilyenfajta fotométert szerkesztettek, melyek tulajdonképpen csak a diafragma alakjában különböznek egymástól, de melyeknek az a közös tulajdonságuk, hogy nyílásukat megszakítás nélkül folytonosan lehet változtatni. A legrégebbi ilyenmű fotométer a *Köhler-*



*féle extinkciós fotométer* (98. rajz), melyent már a 18. század végén készítettek. Legegyszerűbb elrendezésében, minőt a rajzunk is mutat, két, egymás fölött eltolható lemezből áll, melyeknek mindegyike négyzet alakú nyílással van ellátva. Fogasszerkezet segítségével a két lemez egymáshoz képest eltolható és így a szabad nyílás tetszés szerint kisebbíthető. Beosztott skálán leolvasható a nyílás nagysága.

A *KNOBEL-féle fotométernél* hasonló módon háromszögű nyílás szerepel. Szektoralakú nyílásokat is használnak. Más fotométereknél, pl. a *HIRSCH-félénél*, a tárgylencse és az okulár között kör alakú diafragma eltolásával gyengítik a fény.

A *PARKHURST-féle fotométernél* ismét más módot valósítanak meg. A tárgylencse és az okulár közé igen kicsiny törésszögű vékony



98. rajz.

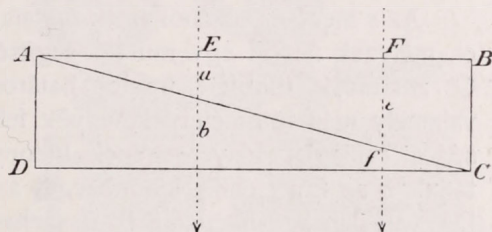
üveg-éket tesznek, mely egészen az optikai tengelyig ér. Ha rögzített távcsőnél valamely csillag a napimozgás következtében a látómezőbe lép, akkor először egyszerű csil-

lagnak látszik. De mihelyt a sugárkúp az üveg-éket keresztezi, a fény kis eltérítést szenved és a csillagnak egy második képe jelenik meg, mely mozgás közben mindig fényesebbé válik, miközben az első csillagkép folyton gyöngül, míg végre teljesen eltűnik. A csillagnak a látómezőbe való belépésétől egészen eltűnéséig eltelt idő a fénygyöngítés kiszámítására szolgál. Ez a skálát helyettesíti, a melyet nem lehetne nélkülözni, ha a távcsövet mozgatnók és közben az üveg-éket is eltolnók. A műszer állandóinak meghatározására *PARKHURST* kissé bonyolult objektív-diafragmát használt.

A *fényelnyelés elvén alapuló fotométerek*. A fényelnyelés elvét legkezdetlegesebb alakjában már 200 évvel ezelőtt alkalmazták. Üveglemezeket, olajozott papiroslapokat, szarulemezeket stb. használtak, a melyekből annyit raktak egymásra, míg végül semmiféle fény sem hatolt többé keresztül. A felhasznált lemezek számából azután ki lehetett számítani az elnyelt vagy visszavert fény mennyiségét. A csillagokra való alkalmazásnál csak az ékfotométer tett

szert jelentőségre, melyet többféle javítás után jelenleg regisztráló fotométernek használnak. E műszer főrésze a fényelnyelő ék, melynek alakját a 99. rajz tünteti fel. Megjegyzendő, hogy a valóságban az ék sokkal laposabb, mint a rajzban. Az úgynevezett füstüvegből készült felső ékhez átlátszó üvegből készült pontosan azonos alakú ék van megfordítva hozzáragasztva, melynek törésmutatója is azonos. Az egész ennél fogva planparallel üveglemez, melyen a fény merőleges beesés mellett törés nélkül halad át. Ha ezt az éket valamely távcső gyújtósíkjának közelében eltolható módon helyezük el, akkor a megfigyelendő csillag fényéből annál több tűnik el elnyelés útján, mennél mélyebben toljuk be az éket. Ily módon a csillag eltűnését is elő lehet idézni. Az elnyelt fény mennyiség kiszámítása igen egyszerű.

A műszerállandók meghatározása után az ék eltolásából közvetlenül erre a fény mennyiségre lehet következtetni. E mellett föltesszük, hogy a fényelnyelő füstüveg teljesen egyenletes; ennek



99. rajz.

a követelménynek teljesítése nem ütközik nagyobb nehézségbe. Ismeretes, hogy a fényelnyelés exponenciális függvénye annak az útnak, melyet a fény az elnyelő közegben megtesz. Az itt nyilvánuló összefüggések igen egyszerűsödnek, ha az intenzitások logaritmusaival számítunk. Tegyük föl, hogy az 1-es csillag eltűnik, mikor az éken  $E$ -nél halad át (99. rajz), hol a fény útja az ékben  $= a$ . A 2. csillag pl. csak  $F$ -nél tűnik el, miután az éken át az  $e$  útát tette meg. Ha  $k$ -val jelöljük az elnyelés együtthatóját, akkor a két csillag intenzitási logaritmusaik különbségét a következő képlet adja meg:

$$\lg I_1 - \lg I_2 = (e - a) \lg k.$$

Legyen az  $EF$  köz  $= s$ . Ez az  $a$  köz, a melylyel az éket el kell tolni, hogy az első csillag eltűnté után a második is eltűnjön. Ha az ék hosszát  $l$ -lel, legnagyobb vastagságát  $d$ -vel jelöljük, akkor  $e - a = \frac{s \cdot d}{l}$ , és így  $\lg I_1 - \lg I_2 = \frac{s \cdot d}{l} \cdot \lg k$ .



Ebben az egyenletben  $d$ ,  $l$  és  $lg k$  az ék számára állandó mennyiségek, a melyek ennél fogva *egy* állandóval helyettesíthetők, a melyet  $C$ -vel fogunk jelölni. Képletünk ekkor a következő alakot ölti:

$$lg I_1 - lg I_2 = C. s.$$

Ha a fényerősség logaritmusai helyett a kényelmesebb és ismertebb csillagnagyságrendeket akarjuk bevezetni, akkor csak 0.4-del kell osztanunk. Ha végül  $C'$ -tel jelöljük a 0.4-del elosztott állandót, akkor a két csillag közötti nagyságrendkülönbség, ha  $M$ -mel jelöljük a nagyságrendet:

$$M_1 - M_2 = C'. s.$$

Az  $s$  mérése céljából az ék foglalatját milliméter skálával látjuk el, melynek állását egy mutató segítségével leolvassuk. Az éknek  $C'$  állandóját többféle módon határozhatjuk meg, pl. úgy, hogy valamely más fotométernek, tegyük fel a ZÖLLNER-félének, mesterséges csillagját fényességének bizonyos hányadával megváltoztatjuk  $s$  az így előálló különbséget az ékfotométerrel megmérjük. De valóságos csillagokat is összehasonlíthatunk, föltéve, hogy ezek fényerősségbeli különbségét már ismerjük.

Az ékfotométerrel való fényességbeli különbségmérésre szolgáljon a következő példa: Az ék állandója  $C'$  legyen 0.16, azaz ha az éket 1 mm-rel eltoljuk, akkor valamely észlelendő csillag fényessége 0.16 nagyságrenddel változzék meg.

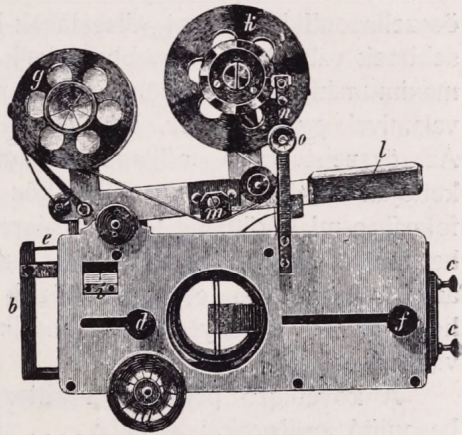
Az 1. csillag eltűnésénél a skálaleolvasás 10.6 mm a 2. csillag eltűnésénél pedig 22.3. Akkor  $s = 11.7$  és ennél fogva  $M_2 - M_1 = 0.16 \times 11.7 = 1.87$ , más szóval a 2. csillag 1.87 nagyságrenddel fényesebb az 1. csillagnál.

Az eltolás megméréseinek ékfotométernél szereplő egyszerű módja lehetségessé teszi nagyon egyszerű regisztrálókészülék alkalmazását. Ezáltal megszűnik a szemnek a skála leolvasása következtében beálló kifáradása s azonkívül a megfigyelés is gyorsabbá válik. Ilyen regisztrálóberendezés van pl. a TOEPFER-féle ékfotométeren, melyet a 100. rajzban mutatunk be. Az éket tartó keret felső  $e$  élén skála van *kiemelkedő* vonásokkal és számokkal. E fölött látható a lenyomható  $l$  emeltyű, melyhez  $m$ -nél ruganyos párnácskát erősítenek. A párnácska fölött papirosszalag

csúszik el, mely a *g* és *k* kerek egyikére göngyölödik fel, miközben a másíkról legöngyölödik. Ha az emeltyűt lenyomjuk, akkor skála és mutató a papirosszalagra rányomódik. Egyidejűleg a *k* kerék kissé elfordul s ezzel a papirosszalag eltolódik, úgy hogy a következő nyomás már a szalag más helyét éri.

A műszer bármely távcsőre az okulár helyébe szerelhető, miáltal ez fotométerré változik át, mely a megfigyelésre ugyan rendkívül kényelmes, de pontosság dolgában nem versenyezhet a ZÖLLNER-féle fotométerrel.

Az említett kifogásokon és aggályokon kívül, melyek minden extinkciós fotométerre érvényesek, színes csillagok megfigyelésénél még egy külön nehézség áll elő, a melyről azonban csak a színeképfotométereknél lesz szó.



100. rajz.

A fotométria legfőbb elve, hogy a szem maga nem tud mérni, csupán a fényesség egyenlőségét tudja nagyobb pontossággal megítélni. Ezen az elven alapszanak az összes eddig említett fotométerek. Az említett elv alól csak annyiban van kivétel, hogy *hosszabb gyakorlat után* a szemmel közvetlenül is tudunk mérni, ha csak nagyon csekély fényességkülönbségekről van szó. Ezt a kivételt különösen változó csillagok fényességének mérésénél alkalmazzák kiterjedtebb mértékben, kivált ARGELANDER indítványára, ki ezt a módszert fokbecslés néven vezette be.

Tegyük fel, hogy első tekintetre két csillagot egyenlő fényességnek találunk, de behatóbb szemlélet után arra a meggyőződésre jutunk, hogy az *a* csillag valamivel fényesebb, mint a másik *b* csillag, akkor ezt az éppen még észrevehető különbséget foknak nevezhetjük. Ez a fényességkülönbség természetesen teljesen egyéni, és minden megfigyelőnél más és más értékű, de egy és ugyan-



azon megfigyelőnél meglehetősen állandó. Ha az  $a$  és  $b$  közti különbség valamivel erősebb, úgy hogy figyelmesebb szemlélésnél azonnal észrevehető, akkor ez a különbség két fokot tesz ki. Ha pedig azonnal szembeötlő, akkor a különbség három fok. Hosszabb gyakorlat után kitűnik, hogy az ilyen foknak valóban van reális értéke, mely a legtöbb megfigyelőnél középértékben mintegy  $0.1 - 0.15$  nagyságrendet tesz ki. Ha három fokon nem megyünk túl, akkor ezek a becslések meglehetősen pontosak.

Változó csillagok megfigyelésénél az eljárás a következő: a változó csillag környezetében több, különböző fényességű összehasonlító csillagot választanak ki, melyek közül a legfényesebbnek valamivel fényesebbnek kell lennie, mint a változó csillag maximumának, a leggyöngébb összehasonlító csillagnak pedig valamivel gyengébbnek, mint a változó csillag minimumának. Az összehasonlító csillagok számát az szabja meg, hogy kettőjük között a fényerősség-köz nem tehet ki többet  $5-6$  foknál, a mi körülbelül fél nagyságrenddel egyenlő. Igen előnyös, ha mennél kisebb közöket választunk. A megfigyelésnél azután az összehasonlító csillagok közül kettőt kiválasztunk akként, hogy az egyik fényesebb, a másik gyöngébb legyen, mint a változó csillag.

A következő példában a változó csillagot  $v$ -vel, az összehasonlító csillagokat  $a, b, c, \dots$  stb.-vel jelöljük. A  $>$  jel azt jelenti, hogy 'fényesebb, mint', a kis betűk után tett számok pedig a fokokat jelzik.

$$\text{Okt. 17. } c2 > v2 > d$$

$$\text{Okt. 20. } c = v4 > d$$

$$\text{Okt. 30. } b1 > v4 > c$$

$$\text{Nov. 15. } a3 > v1 > b$$

$$\text{Nov. 28. } a4 > v = b$$

$$\text{Dec. 2. } b1 > v3 > c$$

$$\text{Dec. 25. } c = v4 > d$$

$$\text{Jan. 2. } c3 > v1 > d$$

$$\text{Jan. 15. } d1 > v2 > e$$

$$\dots \dots \dots$$

A  $v$  eltéréseinek összege a két összehasonlító csillaghoz képest adja ezek fényességbeli különbségét. Így pl.  $a$  4 fokkal fényesebb, mint  $b$ . Ha ezeket a különbségeket a leggyöngébb  $e$  csillagra vonatkoztatva összeállítjuk, akkor az összehasonlító csillagok következő skáláját fogjuk kapni:

$$e = 0 \text{ fok}$$

$$d = 3 \text{ «}$$

$$c = 7 \text{ «}$$

$$b = 11 \text{ «}$$

$$a = 15 \text{ «}$$

Ezen skála alapján a változó csillagnak fokok szerint becsült fényessége a következő:

Okt. 17. $\nu = 5$ fok	Dec. 2. $\nu = 10$ fok
Okt. 20. $\nu = 7$ «	Dec. 25. $\nu = 7$ «
Okt. 30. $\nu = 10$ «	Jan. 2. $\nu = 4$ «
Nov. 15. $\nu = 12$ «	jan. 15. $\nu = 2$ «
Nov. 28. $\nu = 11$ «	. . . . .

Ezek alapján megrajzolhatjuk a fényváltozás görbáját s azt fogjuk találni, hogy a fényesség maximuma nov. 15. és 28. között mintegy 18.-án volt.

Ha a változó csillag fényességét nagyságrendben kifejezve akarjuk ismerni, akkor közvetlen fotometriai mérések segítségével több összehasonlító csillag fényességét kell előbb meghatározunk, hogy az abszolút fényességet és a fokértéket megállapíthassuk. A fokbecslések magukban elegendők arra, hogy valamely változó csillagnak legnagyobb és legkisebb fényességét kikutassuk és hogy ebből a fényváltozás periódusát meghatározzuk. Nyugodtan állíthatjuk, hogy a változó csillagokról való jelenlegi ismereteink legnagyobb részét a fokbecslésnek köszönhetjük.

## TIZENEGYEDIK FEJEZET.

### A színeképfotométerek.

A színekép-fotométerrel valamely fényforrásnak nem az összfényességét mérjük, hanem a színekép egyes részeinek fényességét, miután a keverékfényt a spektroszkóp szétbontotta. Ebből következik, hogy a színeképfotométernél bármely fotometriai elvet alkalmazhatjuk, és hogy a fény szétbontására bármely spektroszkópi szerkezet alkalmas.

Elsősorban nagyon gondosan kell kijelölnünk a színekép-fotométerrel megoldandó feladatokat, mert ezen a téren nagy elméleti nehézségekkel állunk szemben. Fizikai szempontból a színekép egyes részei összehasonlításának csak akkor van értelme, ha az illető sugárzások valódi energiáját meg tudjuk határozni. Ha a fényforrás, vagy általában a sugárzásforrás fekete test, akkor a színekép egyes részeinek energiája a KIRCHHOFF-féle függvény



alapján ismeretes, mihelyt a sugárzásforrás hőmérséklete ismeretes. Megfordítva, ez a hőmérséklet kiszámítható, ha magát a sugárzásenergiát mérjük meg. Ha a sugárzásforrás nem fekete test, akkor a KIRCHHOFF-féle függvénytől eltérések észlelhetők, melyek szilárd testek sugárzásánál aránylag könnyen meghatározhatók, de gáznemű testeknél annyira bonyolultak, hogy ezen a téren eddig majdnem teljesen tájékozatlanok vagyunk. Az összes ilyenemű fizikai feladatok csak oly eszközök segítségével oldhatók meg, a melyekben a sugárzásenergia teljesen hővé változik át s ez a hő azután különféle módszerek szerint mérhető meg.

A sugárzásenergiák a szemben idegingerekké változnak át, melyek a sugárzásenergia nagysága szerint különböző erősségűek. A szélső eseteket nem tekintve, e közben a FECHNER-féle pszichofizikai alaptörvény érvényesül. A mi szemünk azonban egyáltalán nincsen berendezve arra, hogy a színek különböző részei közt lévő valóságos energiakülönbségeket megbecsülhesse. Tudjuk már, hogy szemünk a színeknek csak nagyon szűk területére, t. i.  $0.4\mu$ -tól egészen  $0.8\mu$ -ig érzékeny. Minden, a mi ezen a határon túl fekszik, a szem számára nem létezik. Ha pl. alacsony izzáshőmérséklet mellett az energia-maximum  $0.8\mu$  fölött fekszik, akkor éppen azt a sugárzást nem fogjuk közvetlenül észrevehetni, mely az energia-maximumát tartalmazza.

A színeknek  $0.4 - 0.8\mu$ -ig terjedő részében a szem számára is van ún. n. energiagörbe, vagy helyesebben ingergörbe, melynek azonban nagyon kevés köze van a valódi energiagörbéhez. Ezzel a görbével természetesen összefüggésben van, de megvan a maga teljesen jellemző sajátosságai. Ennek a görbének is bizonyos hullámhosszúságnál van maximuma, s általában az alakja is hasonlít a valódi energiagörbéhez. A maximum helye is változó, de nem a hőmérséklettel, a mint azt a valódi energiagörbénél látjuk, hanem az abszolút fényerővel. Ez által különös bonyodalmak állanak elő. Ezekről a dolgokról e fejezet végén lesz bővebben szó.

Az elmondottakból kiviláglik, hogy valamely színekben nyilvánuló élettani fényességviszonyokat nem tudjuk általában megadni és meghatározni, hanem csak amennyiben az abszolút fényességtől való függés jut kifejezésre. De így is nagy megfigyelésszerű nehézségek merülnek fel, minthogy különböző színű

tárgyak fényessége közt kell összehasonlítást végeznünk, amiről mindjárt kezdetben kijelentettük, hogy ez a fotométriái megfigyelések számára különös nehézséget jelent. Ha valamely színképfotométer szerkezete ezen az elven alapszik, akkor vele a kitűzött feladatot meg tudjuk ugyan oldani, de csupán kicsiny pontossággal és nagyon megnehezített észlelés mellett.

Azonban a színképfotométerrel is elérhetjük ugyanazt a pontosságot, mint a közönséges fotométerrel, ha feladatunkat a következő megszorításnak vetjük alá: Azonos színképrészek fényességviszonyait kell egymással összehasonlítani különböző fényforrások mellett. Ekkor ugyanazokat a színeket hasonlítjuk össze, és így nincsenek nagyobb nehézségek, mint a fehér fénynél. Az efajta színképfotométerek azok, a melyeket tulajdonképpen színképfotométereknek kell neveznünk. Elsősorban ezekkel fogunk megismerkedni. A legelső még tökéletlen ilyféle műszereknél a színeket vagy egymással hasonlították össze, vagy pedig minden színt a fehér fényvel. Ehhez meg kell azonban jegyeznünk, hogy ezeknek a műszereknek segítségével sokkal messzebbmenő feladat oldható meg.

A *Vierordt-féle színképfotométer* közönséges szerkezetű prizmás spektroszkóp, csak a résberendezése más. A rés ugyanis két, egymás fölé helyezett részből áll és mindegyik részben a rés tágassága mérhető módon külön-külön szabályozható. Az egyik rés előtt teljesen visszaverő prizma van elhelyezve, a mely valamely oldalt levő fényforrás fényét vetíti a spektroszkópba, míg a másik rést közvetlenül előlről egy második fényforrás világítja meg. Ennélfogva két, pontosan egymás fölött fekvő színkép keletkezik, melyeknek fényességét a rés tágasságának szabályozásával mérhető módon változtathatjuk. Abból a célból, hogy valamely határozott színképrész összehasonlításánál a többi szín ne hasson zavarólag, az okulárban elhelyezett eltolható réssel a többi fényt visszatartjuk. Ez a berendezés minden színképfotométernél szükséges. Tapasztalat szerint ezzel a műszerrel igen jó mérések végezhetők, bár a VIERORDT-féle módszer meggondolást követelő elvi hibában szenved, mely különösen akkor lép előtérbe, ha nagy fényességkülönbségeket kell megmérni. Azt a rést, melyen a gyengébb fényforrás fénye megy át, tetemesen tágabbra kell kinyitni, mint a másik rést, hogy fényegyenlőség



létesüljön. A megfelelő színekép ennél fogva kevésbé tiszta és ennek következtében azután a két színekép színei nem egyeznek egymással tökéletesen. Azonban előnye a műszernek az, hogy a két színekép majdnem pontosan érintkezik. Csupán fekete vonal választja el őket egymástól, mely a teljesen visszaverő prizma határlapjától ered. Azt is ki kell emelnünk, hogy más fényvesztesség nem jön létre, mint a melyet a spektroszkóp alkalmazása von maga után. Gyöngye színeképek megfigyelésénél ez nagyon fontos körülmény.

A *Glan—Vogel-féle színeképfotométer* tetemesen bonyolultabb szerkezetű. A fotometriai elrendezés a kollimátorlencse és a prizma között van; áll pedig kettősen törő hegyikristályból és az analizáló NICOL-féle prizmából, mely a szokott módon mérhetően forgatható. A spektroszkóp részét fémlécz két részre osztja. A kettős törés következtében mindegyik része két színeképet idéz elő, összesen tehát négyet. A fémlécz szélessége akként van választva, hogy a rés két különböző részéből jövő két középső színekép egymással érintkezzék. A két külső színekép ernyővel eltakarható. A NICOL-féle prizma forgatása alkalmával az egyik rendes színekép fényesebb lesz, miközben a másik rendellenes színekép gyöngül. Minthogy a kettős törés szöge a hullámhosszúságtól függ, azért a két színekép nem egész hosszában érintkezik, hanem pl. a vörösben egymás fölé kerül, az ibolyaszínben pedig széjjelmegy, míg a zöldben érintkezik. Ez igen nagy és aggodalmas hátrány, melyet a kollimátor tárgylencséjének eltolásával el lehet ugyan hárítani, de nem kifogástalan módon. Jobb az eredmény, ha a rés előtt a lécz helyett eltolható éket használunk, melynek segítségével a színekép minden része számára akként változtathatjuk a színekép szélességét, hogy érintkezés jön létre. A két összehasonlítható fényforrás fényét közvetlenül lehet a két félrésre vetíteni, a melyek közül az egyik teljesen visszaverő prizmával van befödve. Rendesen mindegyik fényforrást közös harmadik fényforrással, leginkább petróleumlámpával hasonlítunk össze. A GLAN - VOGEL-féle színeképfotométernek egyik előnye az, hogy vele igen nagy intenzitásbeli különbségeket lehet mérni. Hátránya azonban, hogy a kettős-képek keletkezése nagy fényvesztéssel jár, s hogy az egyik fényforrás fénye a polarizálás következtében mindig gyöngül.

A Crova-féle színeképfotométer valamennyi között eddig a leg-egyszerűbb és a legjobb. Ezt nagyrészt annak az elrendezésnek köszöni, hogy a két, egymáshoz képest elforgatható NICOL-féle prizmából álló fénygyönggítőszerkezet nem a spektroszkóppal van összekötve, hanem már az összehasonlító lámpa sugaraiba még a rés előtt van elhelyezve. Az egyik félrés teljesen visszaverő prizmával van ellátva, mely az oldalt elhelyezett fotométer fényét felfogja és a spektroszkópba vetíti. A két színekép egész hosszában érintkezik, úgy, mint a VIERORDT-féle színeképfotométernél s csak finom vonal választja el őket egymástól. A megvizsgálandó fényforrás fényét nem gyengítjük. A műszer különös előnye az, hogy a teljesen visszaverő prizma nélkül egyszerű spektroszkóp gyanánt használható.

A számos színeképfotométer közül az itt leírt legfontosabb szerkezetek elégséges betekintést fognak engedni a gyakorlati színeképfotometriába. Az érthetőség megkönnyítésére szolgáljon a következő példa, mely az utoljára tárgyalt CROVA-féle színeképfotométerre vonatkozik. Alapul szolgált egy elektromos lámpa színeképe, a mellyel egy gyertya színeképét hasonlították össze. A színekép 4 részét hasonlították össze: 1. a vörösben közel a C vonalhoz, 2. a sárgában D-nél, 3. a zöldes-kékben F-nél, 4. az ibolyásszínben G-nél.

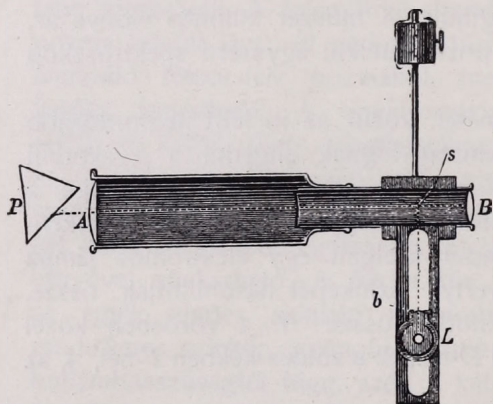
A második NICOL-féle prizma forgatásával, tehát az elektromos izzólámpa színeképének gyönggítésével e négy színeképrész fényességének egyenlőségét lehetett elérni. A két NICOL-féle prizma főmetszetei közti szögekre a következő értékeket találták:  $25^{\circ}20'$ ;  $20^{\circ}40'$ ;  $14^{\circ}60'$ ; és  $8^{\circ}70'$ . E négy helyen a fényerősségek úgy viszonylanak egymáshoz, mint e szögek sinusai, azaz, mint  $0.181:0.121:0.064:0.023$ . Minthogy az abszolút fényerősségek viszonya közömbös, (ez a viszony pl. a fényforrások esetleges távolságaitól függ), ezért ezt a viszonyt a színekép egyik színe számára egységnek vehetjük és akkor a négy színeképrész fényerősségének viszonyára a következő számokat kapjuk:  $1:0.6:0.3:0.1$ . Ez más szóval annyit jelent, hogy csökkenő hullámhosszal (tehát az ibolyaszín felé) a gyertyaláng színeképének intenzitása az elektromos izzólámpáéhoz képest folyton csökken. A sugárzási törvényekkel megegyezően ezt az eredményt közvetlenül akként lehet magyarázni, hogy a gyertyaláng hőmérséklete alacsonyabb,



mint az izzólámpáé, még pedig azért, mert a sugárzás az ibolyaszín felé viszonylag mindig gyengébb lesz. Egyúttal figyelembe kell venni azt, hogy a talált számok a valódi viszonylagos fényességbeli viszonyokat tüntetik fel és ennél fogva a valódi viszonylagos energia-viszonyokat is, mert hiszen pontosan ugyanazokat a színeket hasonlítottuk össze. A mi példánkból tehát kiderül, hogy az izzólámpasugárzásnak az ibolyaszínben való energiája viszonyítva a vörös színbeli energiához tízszer akkora, mint a gyertyánál. Azt azonban nem tudjuk felismerni, hogy ezen színekpek

egyikében a sugárzás az ibolyában vagy a vörösben hányszorta erősebb, vagy gyengébb-e.

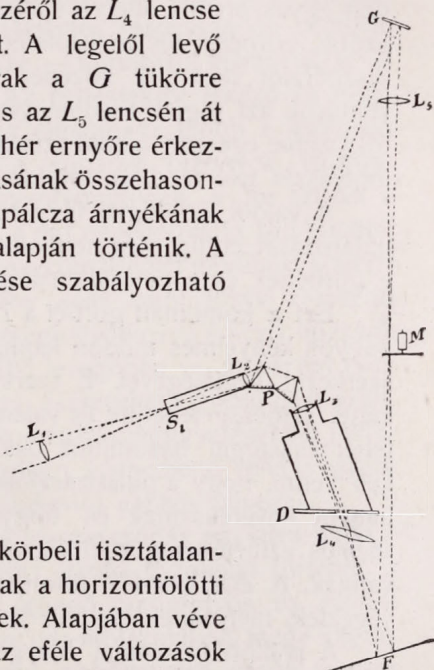
Most röviden le fogjuk írni azokat a színekfotométereket, a melyeknél a színek egyes részeit vagy egymással, vagy pedig fehér fényvel hasonlítjuk össze, a melyek tehát a színek fiziológiai fénygörbéjét adják.



101. rajz.

A FRAUNHOFER-féle színekfotométe ezen eszközök között a legrégibb. Különösen a napszínkép mérésére szolgál (101. rajz). FRAUNHOFER az objektív-prizmát használta spektroszkópnak, vagyis  $AB$  távcsövet, melynek tárgylencséje elé a  $P$  prizma van szerelve. Erre a prizmára a napfény nagyobb távolságban elhelyezett résen át esik. A tiszta látás távolságában  $s$ -nél a féllátómezőt eltakaró tükör van  $45^\circ$ -nyi szög alatt elhelyezve, mely az okulárba vetíti az oldalt elhelyezett  $L$  lámpának fényét a  $b$  keskeny rekeszen át. A lámpa eltolható,  $s$  távolságának változtatásával a lámpafény egyenlő fiziológiai fényerejét az egyes színekprézsekben mérhető módon lehet előállítani. A FRAUNHOFER-féle elrendezés rendkívüli egyszerűsége a műszert használatra igen alkalmassá teszi. Ma inkább kollimátoros spektroszkópot választanánk, a lámpa eltolása helyett pedig inkább a polarizálás elvét értékesítenők.

Az Abney—Festing-féle színeképfotométer igen bonyolult műszer, mely különösen a Nap színeképének megfigyelésére készült (102. rajz). A napsugarakat az  $L$  lencse az  $L_1$  spektroszkóp-résen egyesíti és a  $D$  ernyőn a Nap színeképét létesíti. A  $D$  ernyőn rés van, mely az egész színekép mentén ide-oda tolható, úgy hogy az ernyő mögött a színekép tetszőleges része elkülönítve léphet ki. A színekép ezen részéről az  $L_4$  lencse az  $F$  fehér ernyőn állít elő képet. A legelől levő prizmalapról visszavert napsugarak a  $G$  tükörrre érkeznek, ahonnt visszaveretnek s az  $L_5$  lencsén át fehér képpé egyesítve szintén a fehér ernyőre érkeznek. A két kép fiziológiai intenzitásának összehasonlítása a fehér ernyő elé helyezett pálcza árnyékának segítségével a LAMBERT-féle elv alapján történik. A fehér kép fényerejének gyönggítése szabályozható szektorkivágásokkal ellátott forgókorong segítségével történik, mely  $M$ -nél van elhelyezve. E módszer előnyének tekintik, hogy a Nap színeképe magával a Nap fényével hasonlítható össze, úgy hogy ezáltal kiküszöbölődnek a napfény azon ingadozásai, a melyek a légkörbeli tisztátalanságoktól, különösen pedig a Napnak a horizontfölötti magasságának változásából erednek. Alapjában véve ez csak akkor lenne helyes, ha az eféle változások a színekép valamennyi részében egyenlők lennének, a mi kétségtelenül nem úgy van. Az egyes színekép-részeknek egymással való összehasonlításából azt az általános eredményt vonhatjuk le, hogy a fiziológiai fényesség maximuma a sárgában van, azonban csekély abszolút intenzitás mellett mindinkább a zöld felé tolódik el, mindenben függetlenül a valódi energiamaximum helyzetétől. A színek fiziológiai fényerősségére prizmás spektroszkóp segítségével kapott értékek még bizonyos javításra szorulnak, s ez onnét ered, hogy prizmás színeképnél a hullámhosszúságok nem arányosak a lineáris távolságokkal, hanem hogy a vörösben a legsűrűbben, az ibolyaszínben ellenben legkevésbé vannak összeszorítva. Ennek következtében a színekép



102. rajz.



vörös része viszonylagosan fényesebbnek látszik, mint a sárga, ez ismét fényesebbnek, mint a zöld és í. t.

Rács segítségével előállított színekben hullámhosszak és távolságok teljesen arányosak. Ezért ezeket a színeképeket normálisoknak nevezzük. A prizmás színeképeket ennél fogva vissza kell vezetni a rendes fényszórásra, a mi könnyen kivihető, ha minden egyes prizma, illetve spektroszkóp számára ismerjük a fény-szórás görbáját, illetve képletét. Ha erre a célra pl. a zöldszínbeli diszperziót tekintjük közepes értéknek, akkor az alkalmazandó javítások azt fogják eredményezni, hogy a fényerősségek a vöröstől kezdve egészen a zöld színig folyton kisebbednek, a zöldtől az ibolyaszín felé azonban folyton növekednek.

A valódi fiziológiai fényerősséggörbe vagy ingergörbe meghatározását eddig még nem sikerült végrehajtani; a mit elértek, az e görbének és a petróleumlámpa energiagörbéjének eredője.

Ezt a kombinált görbét a ZÖLLNER-féle fotométer segítségével nagyon kényelmes módon kaphatjuk meg, még pedig koloriméter-szerkezet segítségével. E szerkezettel t. i. a mesterséges csillag képét színessé tehetjük és valamely természetes vagy mesterséges fehér csillaggal hasonlítjuk össze. E mellett azonban figyelembe kell venni, hogy a polarizációs színek nem tiszta spektrumszínek, hanem keverékszínek és hogy a spektrumszínek és a polarizációs színek színgörbéi között valóban észrevehető különbségek vannak. A ZÖLLNER-féle fotométerrel számos idevágó vizsgálatot végeztek, melyeknek eredményei a következők:

A javított fiziológiai fénygörbék a rendszemű különböző megfigyelőknél nem nagyon térnek el egymástól, úgy hogy középértékeket igen jól lehet képezni. Ha a sárga színben levő fénymaximumot 100%-kal jelöljük, a többi színben előforduló fényességeket pedig ennek százalékában, akkor számos megfigyelésből a következő középértékeket kapjuk, melyeknek alapjául a petróleumláng sugárzásgörbéje szolgál.

Szín	Fényesség
vörös	19 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
narancs	55 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
sárga	100 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
zöld	38 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
kék	13 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
ibolya (szürke)	7 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>

## TIZENKETTEDIK FEJEZET.

## A fény kioltása.

Testünk szervezeténél fogva a Föld felületéhez, azaz a földi légkör legmélyebb helyéhez vagyunk kötve és csak egyes esetekben tudjuk a megfigyeléseket oly tetemes magasságban végezni, hogy ott a légkör észrevehető része — körülbelül egyharmada — már ne módosítsa az eredményt. Az égítestekről érkező és megfigyelés alá veendő fénysugaraknak ennél fogva előbb a légkörön kell áthatolniuk. Ezen az úton a sugarak bizonyos változásokat szenvednek, nevezetesen meggyöngülnek, a mi azután a megfigyelés eredményét módosítja, a mit ennél fogva ki kell kutatni, hogy számításba vehessük. E hatások szélsőségeit mindenki ismeri: felhőkön még a legerősebb napfény sem hatol többé keresztül közvetlenül, hanem csak erősen megfogyatkozva érkezik hozzánk szétszórt fény. De még a legtisztább levegőben is, a milyent csak magas hegyek ormán lehet észlelni, észrevehető gyengülést szenved a fény, a melyet különösen fotométriái megfigyeléseknél tekintetbe kell venni. A fénynek levegőben végbemenő rendes gyengülését légköri fénykioltásnak (extinkció) szokás nevezni.

A fénykioltás a fényelnyelés és visszaverődés együttes hatásából keletkezik. Az elnyelés a légkört alkotó gázokban történik, a visszaverődés pedig a légkörben lebegő cseppfolyós és szilárd részecskéken, valamint magukon a gáz-molekulákon megy végbe. A légkörben állandó mennyiségben a következő gázok vannak mindig jelen: nitrogén 78<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, oxigén 21<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, argon közel 1<sup>0</sup>/<sub>0</sub> és széndioxid 0.08<sup>0</sup>/<sub>0</sub> térfogat-egységenként. Ezenkívül a levegőben előfordulnak az újabban felfedezett úgynevezett nemes gázok, a melyeknek mennyisége azonban csak elenyésző csekély. A levegőben ezeken kívül folyton változó mennyiségben jelen vannak: vízgőz, ózon (magasabb rétegekben), ammónia és salétromossav. Ezek közül az anyagok közül a vízgőzé a legfontosabb szerep, mely meleg levegőben óriási mennyiségben van jelen, míg télen hideg időben mennyisége némelykor csak nagyon csekély. Lebegő szilárd anyagok rendszeren a következők: mindenféle por, mint pl. legfinomabb homok, korom, szerves anyagok és összesűrűsödött



vízgőz, hó vagy jégkristály alakjában és cseppfolyós alakban mint vízcsöppecskék.

A gázokban való elnyelés kétféle: 1. általános elnyelés, mely abban nyilvánul, hogy az egész sugárzás vagy legalább is annak nagy része egyenletesen és csak kis mértékben gyöngül; 2. a szelektív elnyelés, a melynél a sugárzásnak csak kicsiny része, de ez aztán erős, vagy éppenséggel teljes elnyeletést szenved. Míg az elsőfajta elnyelés a spektroszkópban alig, vagy egyáltalán nem észlelhető, addig a második fajta elnyelésnél többé-kevésbé erős sötét vonalak, vagy sávok jelennek meg, melyeket légköri vonalaknak szokás nevezni. Ezekről a Nap színképének leírása alkalmával bővebben lesz szó. Itt csak azt említjük meg, hogy a szelektív elnyelés csak a vöröstől a zöld színig mutatkozik; a zöld színen túl különálló légköri vonalak többé nincsenek. Bár az oxigén és a nitrogén nagy mennyiségben fordul elő, mégis csak kevés mértékben nyelik el a fényt. A legerősebb elnyelést a vízgőz okozza. A széndioxid a látható színképben nem idéz elő észrevehető elnyelést. Az ibolyántúli részben az elnyelés igen erősen, végül majdnem hirtelen növekszik, úgy hogy a  $0.29 \mu$  hullámhosszúságú sugarak számára légkörünk majdnem teljesen áthatatlan. Ugy gondolják, hogy az elnyelésnek ezt a hirtelen növekedését főleg az ozon okozza, melynek színképében ezen a helyen erős elnyelési sávok vannak. A legerősebb elnyelés a vörösöntúli részben mutatkozik, hol vízgőztől és széndioxidtól eredő elnyelési sávok jelentkeznek, melyek az egész látható színképnél nagyobb terjedelműek.

A visszaverődésnél elsősorban maguk a gázmolekulák jönnek tekintetbe. Az elmélet azt tanítja, hogy oly legkisebb terjedelmű részecskékben, minők a gázmolekulák, az áthatoló fény elhajlítást (molekuláris diffrakciót) szenved, melynek következtében a fénynek egy része eredeti irányától eltérítődik és minden lehető irányban széjjelszóródik. A fényelhajlítás hatása kisebb hullámhosszúságoknál erősebb, mint a nagy hullámoknál, más szóval a vöröstől az ibolya felé növekszik. A kisebb hullámokkal való növekvés annál erősebb, mennél kisebbek a jelenséget előidéző anyagrészecskék. Ennélfogva ebben a tekintetben maguknak a molekuláknak van a legerősebb hatásuk és ezért légkörünkben leginkább a kék és az ibolyaszínű sugarak verődnek vissza. Innét ered az ég kék

színe. Ebből világos, hogy a légkörön áthatoló fény kék- és ibolyaszínű sugarakban szegényebb, mint az a fény, a mely kívülről érkezik a légkör határához. A molekuláris diffrakció e szerint úgy hat, mint az ibolyaszín felé növekvő általános elnyelés. Nagyobb levegőrészecskék és kristályok, mint pl. finom por, legkisebb víz-csöppecskék és kristályok hasonló módon hatnak, csak hogy a kék- és ibolyaszínű sugarak sokkal kisebb mértékű elhajlást szenvednek. Az itt mutatkozó szétszórt visszaverődés csak kevésbé, vagy egyáltalán nem kék, hanem inkább fehér. A molekuláris diffrakció előidézte szóródáshoz ez is hozzájárul és a kettő együtvéve idézi elő az ég fehéreskék színét, mely a mi szélességeink alatt túlnyomóan uralkodik, minthogy itt, ellentétben a melegebb tájakhoz, a légkörben állandók a vízpárasűrűsödések.

Légkörünkben még más okból is történik fényszóródás. Tudjuk, hogy két különböző törésmutatójú közeg határfelületén mindig van fényvisszaverődés. Számtalan ilyféle határfelület keletkezik napsütés alkalmával a felhevített talajból felszálló melegebb légáramlások következtében, melyeknek törésmutatója valamivel kisebb, mint a környező hidegebb levegőé, a melybe behatolnak. Bár minden egyes felületen a visszaverődés csak nagyon csekély értéket ér el, azért mégis sok ezer ilyen felület hatása végül nagyobb mennyiséggé összegeződik. Forró, száraz időben, a mikor valódi páráról (vízcseppecskékről) szó sem lehet, az e fajta visszaverődés hatása az ég fehéres színezetében nyilvánul, különösen pedig az alsóbb légrétegek erős elhomályosodásában, mely minden messzebb kilátást megakadályoz.

Az elmondottakból már tisztán felismerhető, hogy az össz-sugárzásnak a légkörben szenvedett fényvesztésének megállapítása rendkívül bonyolult és nehéz feladat, mely különösen a Nap sugárzásának megállapításánál merül fel. A fénykioltásnál, a mely csak a fénysugarakra vonatkozik, a viszonyok valamivel egyszerűbbek, mert a legerősebb elnyelések a színek látható részén kívül esnek. Mindazonáltal a jelenség exakt tárgyalása nagy nehézségeket okoz, minthogy az elnyelések viszonya a színek különböző részeiben nem marad állandó, ha változik annak a légrétegnek vastagsága, a melyen a fény áthaladt. Ez a vastagság pedig a csillagok horizonfeletti magasságával változik. A zenitben a légkörön át megtett út minimum, a horizonban pedig maximum.



Azt, hogy milyen erősen változik a fényelnyelés, legvilágosabban maga a természet mutatja. A zenit közelében a Nap ragyogása elviselhetetlen, fénye fehérnek látszik; a horizon közelében pedig sokszor egyenesen bele is nézhetünk a Napba. A Nap színe ilyenkor élénk vörös vagy narancssárga, a mi azt bizonyítja, hogy a légkörön át megtett hosszú úton az ibolyaszínű, kék és zöld sugarak sokkal nagyobb mértékben vesznek el, mint a sárga és vörös sugarak. Ezt a tapasztalatot azonnal a csillagokra is hasznosítjuk. Tegyük föl, hogy két, egymáshoz közelálló csillagot figyelünk meg, melyek közül az egyik fehér, a másik piros és a melyek nagy magasságban a horizon felett egyenlő fényesnek látszanak. A vörös csillag már magában véve alig bocsát ki kék és ibolyaszínű sugarakat. Ha a csillagok közel vannak a horizonhoz, akkor az utóbb említett sugarak erősebb gyöngítése nem fejt ki nagy hatást; a fehér csillagról ellenben, mely sok kék- és ibolyaszínű sugarat bocsát ki, sok fény is fog veszendőbe menni. Az eredmény az lesz, hogy a horizon közelében a vörös csillag fényesebbnek fog látszani, mint a fehér csillag.

Azon úthosszaknak pontos kiszámítása, melyeket a fény a levegőben a horizon felett különböző magasságban megtett, tetemes nehézségekbe ütközik, mert nem ismerjük azt a törvényt, a mely szerint a levegő sűrűsége a Föld felszínétől fölfelé fogy. Azonban könnyű módon tehetünk szert közelítő értékekre, ha a valóságos légkör helyett egynemű légkört képzelünk, melynek sűrűsége mindenütt ugyanaz. Ily egynemű légkör magassága kerek-számban mintegy 8 km-t tenne ki.

A következő összeállítás megmutatja, hogyan növekszik ilyen egynemű légkörben a fénysugár útjának hossza, ha a csillag horizonfeletti magassága fogy.

Horizonfeletti magasság	Úthossz
90°	8.0 km.
80°	8.2 »
70°	8.5 »
60°	9.3 »
50°	10.5 »
40°	12.5 »
30°	16.0 »
20°	23.4 »
10°	46.6 »

Az út hossza először elég lassan növekedik, a horizont közelében azonban igen gyorsan emelkedik.  $10^0$  magasságnál az út már majdnem hatszor akkora, mint a zenitben. Ennek alapján könnyen elképzelhetjük, hogy annak az útnak milyen hatása van az elnyelésre.

A különböző magasságokban való fénykioltás meghatározása úgy történik, hogy ismételten megmérjük valamely csillag fényességét különböző magasságokban, lehetőleg a zenittől egészen a horizonig. De minthogy a fénykioltás függ a légköri állapotoktól és ezekkel együtt változik, azért a több estéről származó megfigyelések nem fognak egymással pontosan megegyezni. Ha középértéküket vesszük, akkor az ilyen középérték valamely közepes légköri állapotnak fog megfelelni. Ha ezeket az eredményeket egyes esték megfigyeléseire fölhasználjuk, akkor nem fogunk kifogástalan eredményeket kapni, de hosszabb megfigyeléssorozatoknál végül elfogadható középértékhez juthatunk. Az extinkciós mérésekből ennél fogva az észlelés helye számára érvényes közepes extinkciós táblázatot állítunk össze, a mely aztán más helyek számára is érvényes lesz, melyeknek éghajlati viszonyai hasonlóak és tengerfeletti magasságuk körülbelül megegyezik. Példaképpen közöljük a MÜLLER-től Potsdam számára kiszámított fénykioltási táblázat kivonatát azokkal a fénykioltási értékekkel együtt, a melyeket a 2.500 m magas Sántisen találtak. E szerint a Sántisen a fénykioltás tetemesen csekélyebb, mert hiszen itt a légkörnek már több mint egy negyede nem szerepelt és pedig a legmélyebb és legtisztátalanabb légrétegek.

**Fénykioltási táblázat Potsdam és Sántis számára.**

Horizonfeletti magasság	Fénykioltás nagyságrendben kifejezve	
	Potsdam	Sántis
$90^0$	0·00	0·00
$80^0$	0·00	0·00
$70^0$	0·01	0·01
$60^0$	0·03	0·02
$50^0$	0·06	0·04
$40^0$	0·12	0·08
$30^0$	0·23	0·14
$25^0$	0·32	0·19
$20^0$	0·45	0·26
$15^0$	0·65	0·39
$10^0$	0·98	0·63
$5^0$	1·72	1·26
$2^0$	3·10	2·34



A zenit közelében a fénykioltás növekedése teljesen észrevehetetlen s csak  $30^\circ$ -nyira a zenittől, vagyis  $60^\circ$ -nyi magasságban kezd észrevehetővé válni. A horizon közelében azonban nagyon gyorsan változik és egész tetemes értékeket érhet el, a melyek három nagyságrendet, sőt többet is kitehetnek. Mennél nagyobbak ezek az értékek, annál bizonytalanabbak is. Ebből következik az asztro-fotometria következő főszabálya: a megfigyeléseket mennél nagyobb horizonfeletti magasságokban kell végezni, a mennyire ezt a megfigyelendő csillag helyzete megengedi.

Az, hogy mekkora a fénykioltás magában a zenitben, nem tűnik ki a mi táblázatunkból, a mely csak az extinkció növekedését mutatja a zenittől kezdve; de ki lehet számítani ezt az extinkciót a megfigyelésekből. A fényvesztesség középértékben  $0.16$  tesz ki, azaz a zenitben levő csillag is az extinkció következtében fényéből  $16\%$ -ot, vagyis  $0.2$  nagyságrendet veszít. A zenitbeli fényvesztésnek az egységre való kiegészítését transzmissziós együtthatónak nevezzük. A mi példánkban a transzmissziós együttható ennélfogva  $0.84$ .

Már említettük, hogy kisebb hullámhosszak számára az extinkció erősebb, mint a nagyobb hullámhosszúságok számára. Ennek a körülménynek természetesen a transzmissziós együtthatókban is kifejezésre kell jutnia. Néhány hullámhossz számára a transzmissziós együtthatót a következő táblázat adja meg MÜLLER számításai alapján:

Hullámhossz	S z í n	Transzmissziós együttható
$0.66 \mu$	Vörös	$0.87$
$0.62 \mu$	Narancsszín	$0.85$
$0.58 \mu$	Sárga	$0.83$
$0.54 \mu$	} Zöld	$0.81$
$0.50 \mu$		$0.78$
$0.46 \mu$	Kék	$0.74$
$0.42 \mu$	Ibolyaszín	$0.66$

Ebből az összeállításból láthatjuk, hogy míg a vörösben a fényvesztesség  $13\%$ -ot tesz ki, addig az ibolyaszínben már  $34\%$ -ra rúg. Ennek az erős emelkedésnek az oka valószínűleg a már emlí-

tett molekuláris diffrakcióban keresendő. A légkör átlátszóságának aránylag igen éles határa az ibolyaszínben levő  $0.29\mu$  hullámhossznál azt eredményezi, hogy e határon túl az égitestekről nem érkezhetnek hozzánk sugarak, mégis valami csekély eredményt érhetünk el az által, ha lehetőleg magasan fekvő észlelőhelyet választunk. 660 méterrel való emelkedés az említett határt mindössze  $0.001\mu$ -nal tolja el az ibolyaszín felé.

Az ibolyaszínben még beljebb fekvő hullámhosszak számára a levegő végül még igen vékony rétegekben is átlátszatlaná válik. 10 méter vastag réteg még  $0.212\mu$  hullámhosszúságú sugarakat bocsát keresztül, 10 cm vastag réteg  $0.157\mu$ -n túl mindent elnyel. Megemlítjük itt, hogy az üveg már sokkal hamarabb átlátszatlan. Üveget nem szabad használni oly vizsgálatoknál, melyeket ibolyántúli fénnel kell végrehajtani. Itt már csak hegyikristály vagy folyópát használható, ha nem akarunk visszaverő fémfelületet használni.



## NEGYEDIK SZAKASZ.

### A NAP SUGÁRZÓ HŐJÉNEK MÉRÉSE.

Tudjuk, hogy a hő háromféle úton terjedhet egyik testről a másikra: sugárzás, vezetés és konvekció útján. E lehetőségek közül az asztrofizikában csupán egyetlen-egy jöhet szóba: a sugárzás. De a sugárzásból valamely test hőmérsékletét csak úgy tudhatjuk meg, ha az a test fekete, mert csak ebben az esetben ismerjük a sugárzás törvényeit, illetve ezeknek számbeli állandóit. Ha tehát az a feladat, hogy égitest hőmérsékletét kell a sugárzásból megállapítanunk, akkor először itt is a fekete sugárzás korlátozottabb föltevéséből kell kiindulnunk. Az ily módon kapott hőmérsékletet *effektív hőmérsékletnek* nevezzük. A következőkben mindig ezt a hőmérsékletet értjük, ha rövidség kedvéért az »effektív« szót el is hagyjuk. Az effektív hőmérséklet meghatározásának feladatába azután csak akkor lehet fogni, ha az illető égitest szerkezete és állapota pontosan ismeretes. Eddig még egyetlen égitestnél sem sikerült ezt az utóbbi feladatot teljes biztonsággal megoldani.

A KIRCHHOFF-féle függvény vagy a PLANCK-féle egyenlet egyértelmű összefüggést állapít meg valamely határozott hullámhosszúságú megmért sugárzásenergia és a fekete test arányos hőmérséklete között, úgy hogy a megmért energiából közvetlenül az effektív hőmérsékletet lehet megállapítani. Bizonyos esetekben ez az összefüggés rendkívül egyszerű alakot ölt, a mint azt már más helyen behatóbban elmondtuk. Ha megmérjük az összsugárzás energiáját, azaz az összes hullámhosszúságú sugárzások összegét — a mit igen nagy megközelítéssel úgy lehet elérni, ha a sugárzást bekormozott ernyővel fogjuk fel —, akkor a STEFAN-féle sugárzástörvény lép érvénybe, mint a KIRCHHOFF-féle függvény első

speciális esete, a mely törvény szerint a sugárzás energiája az abszolút hőmérséklet negyedik hatványával növekszik. Ha azt a hullámhosszúságot vesszük szemügyre, a melynél a sugárzás maximuma van, és ha ezt a maximumot megmérjük, akkor mint második speciális esetet azt a törvényt fogjuk találni, hogy ez a maximális sugárzásenergia az abszolút hőmérséklet ötödik hatványával növekszik. Egyébiránt nem is szükséges megmérnünk ennek a maximális energiának az abszolút értékét, mert az is elég, ha megállapítjuk, hogy mely hullámhossznál nyilvánul az energia maximuma. A WIEN-féle eltolódástörvény azután mint harmadik speciális esetet az abszolút hőmérsékletet szolgáltatja, ha ismerjük a sugárzásmaximum hullámhosszát. Végül spektroszkóppal hullámhosszúságok szerint bonthatjuk szét a sugárzást, megmérhetjük a sugárzásenergiákat valamennyi, vagy csak egyes hullámhosszúságok számára és azután a KIRCHHOFF-féle függvényt kiszámítva megállapíthatjuk a hőmérsékletet.

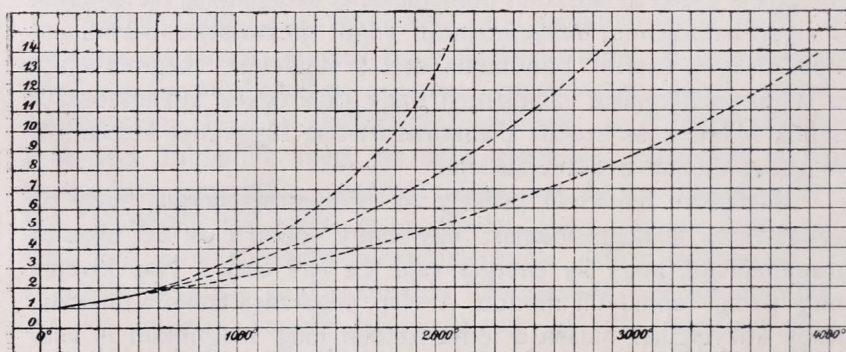
Általában rendkívül csekély az a sugárzásenergia, mely az égitestekről hozzánk érkezik, úgy hogy éppen csak azt sikerült megállapítani, hogy ily energia van. Ez alól csak a Nap kivétel, még pedig rendkívüli módon. A Nap sugárzása annyira intenzív, hogy közvetlen hatása a természetben még magunkon is világosan észrevehető, ezért számos kísérletet tettek arra nézve, hogy megmérjék a Nap sugárzását és hogy ebből azután megtudják effektív hőmérsékletét is. Azért nem meglepő, hogy külön erre a célra szerkesztett műszerekkel aránylag igen korán sikerült a Nap sugárzását meglehetősen pontossággal megmérni. De az már aztán meglephet bennünket, hogy ezen az alapon a Nap számára kiszámított hőmérsékletek nagyon eltérnek egymástól, a mennyiben  $1500^{\circ}$  és  $10,000.000^{\circ}$  között váltakoznak, ezért a Nap-hőmérséklet megállapításának problémája szinte rossz hírbe keveredett a fizikusok és a matematikusok körében. Könnyen be lehet látni, hogy ennek mi az oka. A Nap hőmérsékletének megállapítása úgynevezett extrapolációs feladat. Azt, hogy ily problémában mekkora a bizonytalanság, rögtön meg fogjuk érteni.

Körülbelül 1890-ig, a modern sugárzástörvények felfedezése előtt, csak laboratóriumi kísérletekkel lehetett megállapítani az összefüggést valamely sugárzó test sugárzása és hőmérséklete között. De ez az eljárás is meglehetősen bizonytalan eredménye-



ket szolgáltatott, a mennyiben a mesterséges fekete testet még nem találták fel. A rendelkezésre állott legmagasabb hőmérséklet nem tett ki többet  $300^{\circ}$ – $400^{\circ}$ -nál. Abból a törvényből, a melyet abban a kicsi, talán  $100^{\circ}$ -tól egészen  $400^{\circ}$ -ig terjedő közben érvényesnek találtak, oly hőmérsékletre kellett következtetni, mely bizonyosan néhány  $1000^{\circ}$ -ra rúgott. Azt, hogy ily extrapoláczió nál mekkora bizonytalanság uralkodik, a 103. rajz mutatja.

Ebben a rajzban vízszintes irányban a  $0^{\circ}$ -tól  $4000^{\circ}$ -ig terjedő hőmérsékletek vannak feltüntetve, az erre merőleges irányban pedig a sugárzás-intenzitások. A teljesen kihúzott görbedarab fel-



103. rajz.

tünteti a sugárzás menetét  $100^{\circ}$ -tól  $400^{\circ}$ -ig terjedő hőmérsékletnél úgy, a mint azt kísérletekkel megállapították. Abból a célból, hogy megtaláljuk a sokkal erősebb sugárzásoknál uralkodó hőmérsékleteket, ezt a görbét meg kell hosszabbítani, még pedig a rajz szerint az ismert darabnak több mint húszszorossával (valóságban mintegy 10.000-szeresével). De nyilvánvaló, hogy a pontozott vonallal jelzett folytatások s ennél fogva  $2000^{\circ}$ -tól  $4000^{\circ}$ -ig az eredmények bizonytalanok. Csak ha a görbevonall valódi törvényét ismerjük, nem nehéz többé az extrapoláció. Ennek lehetősége most meg van, mert a KIRCHHOFF-féle függvényt felfedezték.

A Naphőmérséklet megállapításának feladata két részből áll, melyeknek elseje tisztára gyakorlati: a sugárzásenergia megmérése a Föld felszínén. Másik része elméleti: megállapítani az első részben talált eredményekből a légkörön túl létező sugárzásenergiát, más szóval az úgynevezett szoláris állandót.

## TIZENHARMADIK FEJEZET.

## A sugárzás megmérése.

Aktinométernek vagy pyrhéliométernek nevezzük a Nap sugárzásenergiájának megmérésére szolgáló műszereket. E műszerek megértéséhez szükséges, hogy szigorú különbséget tegyünk hőmérsékletmérés és energiamérés között. Ezt legegyszerűbben a közönséges higanyhőmérőről vett példán fogjuk megérthetni. Ha hőmérő hosszabb időn át árnyékban volt, akkor közelítőleg fölvette a levegő hőmérsékletét. Ha hirtelen kitesszük a Nap sugárzásának, akkor emelkedni kezd és bizonyos idő múlva észrevehetően magasabb helyzetben megáll. Ezáltal bebizonyosodott, hogy a Nap sugárzása következtében a hőmérő higanya energiához jutott s ez az energia hővé változott és a higany hőmérsékletét emelte. A hőmérsékletemelkedés megszűnik, ha a Napsugárzás által történő energiaközlés egyenlő azzal az energiavesztéssel, a melyet a hőmérő szenved kifelé saját sugárzása, a hő elvezetése és a konvekció által. A higany azonban kevésbé alkalmas arra, hogy a sugárzást hővé változtassa, még pedig azért, mert a sugárzást legnagyobb részben tükrözés által visszaveri. Azonban elérhetjük azt, hogy a higany a sugárzást majdnem teljesen magába fogadja, vagy elnyeli, még pedig úgy, hogy a hőmérő gömbjét korommal bevonjuk. Valóban a bekormozott hőmérő a napsugárzásnak kitéve, sokkal magasabb hőmérsékletet mutat, mint a kormozatlan hőmérő. Könnyen észlelhetünk  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nyi hőmérséklet-különbségeket is. A hőmérő tehát alkalmas arra, hogy sugárzás folytán keletkező hőmérsékletkülönbséget mérjünk vele. A hőmérő pl. mérhetően megmutatja, hogy a Nap kicsiny magasságánál ez a különbség kisebb, mint nagyobb magasságnál. De ez a hőmérsékletkülönbség a mi feadatunk szempontjából egyelőre nem értékesíthető. Mi azt akarjuk megmérni, hogy a sugárzás mennyi energiát visz magával, vagy pontosabban szólva, hogy az időegység alatt (egy percz) a felület egységre (egy négyzetcentiméter) mennyi energia jut sugárzás útján.

Már említettük (157. lap), hogy az energia mértékegysége a grammkalória, vagyis az az energiamennyiség, mely hővé átváltozva



egy köbczentiméter (1 g) víz hőmérsékletét  $0^{\circ}$  C-ról  $1^{\circ}$  C-ra emeli. Különböző anyagoknál az ugyanazon hőmennyiség által előidézett hőmérsékletemelkedés különböző. Azt a hőt, a melyet valamely testnek 1 grammja a víznek átad, mialatt egy fokkal lehül, vagy a mely hőt a vízből fölvesz, mialatt hőmérséklete egy fokkal emelkedik, specifikus vagy fajhőnek nevezzük. Ezen az alapon és a bekormozott termométergömb ama felületének nagysága szerint, mely a sugárzásnak volt kitéve, kiszámítható, hogy mily hőmérsékletemelkedés jött volna létre, ha a higanygömb helyett 1 gramm súlyú bekormozott vízkoczká lett volna a sugárzásnak kitéve, mely koczkának oldallapjai egy négyzetcentiméter területűek. Meg kell itt jegyeznünk, hogy a gyakorlatban a számítást nem ezen a módon fogjuk végrehajtani, hanem, hogy a termométergömbnek ezt a vízre vonatkoztatott egyenértékét a laboratóriumban kísérletileg fogjuk meghatározni. Ezen érték megállapítása után a hőmérő aktinométernek használható.

Az eddig használatba került főbb aktinométerek rövid ismeretése után meg fogjuk említeni azt a sokféle gyakorlati nehézséget, mely a sugárzásméréseknél felmerül.

Az első aktinométert POUILLET szerkesztette 1838-ban. Vékony ezüstpléhből készült, lapos, hengeralakú edényt, mintegy 100 grammnyi víztartalommal, elülső lapos oldalán korommal vontak be és ezt a felületet a napsugarak irányára merőlegesen állították be. A víz megmelegedését hőmérő segítségével mérték meg, az egész edénynek vízre vonatkoztatott egyenértékét pedig kísérletileg határozták meg. Abból a célból, hogy a csak elülső oldalon megmelegített víz egyenletesen összekeveredjék, az edényt folytonos forgómozgásban tartották. Ezen a műszeren könnyen megállapíthatók olyan hibaforrások, a melyek részben más aktinométereken is előfordulnak: 1. Az edény elülső lapjával párhuzamos forgás nem keveri össze tökéletesen a vizet, úgy hogy a víz hőmérséklete sem lesz egyenletes. 2. Az edény a környezet minden irányába kisugároz és másrészt mindenünnen, különösen az égboltozatról, sugárzások érik az edényt. Az edényt ez ellen valami burokkal megvédeni esetleg még veszedelmesebb lehet, különösen ha ennek a buroknak hőmérséklete nem állandó. 3. Minden csekély szellő hőmérsékletváltozásokat idéz elő az edényben; erősebb szélben a műszerrel való megfigyelés egyáltalán nem lehetséges.

A POUILLET-féle pyrhéliométer hosszabb időn keresztül mintául szolgált hasonló műszerek számára, de sokféle változtatással. Így pl. CROVA és LANGLEY víz helyett higanyt használtak, de ezzel sem értek el jobb eredményeket.

Lényegesen különböző szerkezetet használt VIOLLE. A sugárzás hatásának kitett eszköz bekormozott termométergömb volt, melyet nagyobb kettősfalú üres gömb középpontjába helyezett el; hőmérsékletét folyó víz segítségével állandóan ugyanazon a ponton tartotta. A sugárzás az üres gömbön alkalmazott nyíláson át érte a hőmérő gömbjét. Ennélfogva már VIOLLE mintegy öntudatlanul abszolút fekete testbe helyezte a sugárzó felületet. Azonban a hőmérő használata e módszernek különös hátrányára válik, mert a kis termométergömbnek a vízzel való egyenértékét elegendő biztonsággal megállapítani nagyon nehéz. Azonban előnyül kell tudnunk azt, hogy VIOLLE-nak az ő berendezésével ártalmatlanná sikerült tenni úgy a külső sugárzásnak, mint a szélnek hatását.

ÄNGSTRÖM első pyrhéliométerje további haladást jelentett. Műszere lényegében elülső lapjain bekormozott, két, egyenlő rézlemezből áll. A hátsó lapok közepébe termooszlop forrasztási helye akként van becsavarva, hogy az oszlopok a lapok geometriai középpontjában foglalnak helyet. A lemezeket felváltva sugárzásnak tette ki és betakarta, a jelentkező hőmérsékletkülönbséget pedig a termooszlopok és finom galvanométer segítségével mérte meg. E műszer előnye, hogy nem az egyes felületek hőmérséklete, hanem a két lemez hőmérsékletkülönbsége esik a latba. A sugárzás és a szél által keletkezhető zavaroknak egy része ezáltal ki van küszöbölve.

Röviden megemlítjük még a következő kísérleteket. ERICSSON éppen úgy, mint VIOLLE, olyan burkot használt, melyen állandó hőmérsékletű víz folyt keresztül. A sugárzásnak kitett test gyanánt termométergömböt is, meg vízzel telt edényt is használt. Gyújtótükrök és lencsék segítségével a vizet forrásba hozta s ezzel kis gőzgépet hozott mozgásba.

Hasonlóan járt el SECCHI, SORÉ és STEWART. Ellenben ROENTGEN és EXNER jégkalorimétert használt, melynek egyik oldala a sugárzásnak volt kitéve.

Teljesen más elvet alkalmazott HIRN és ÄNGSTRÖM, a kik



széndiszulfidot, illetve étert párologtattak el a Nap sugárzásának hatása alatt, miután előbb megállapították, hogy e folyadékok bizonyos mennyiségének elpárologtatásához mennyi hő szükséges.

Néhány évvel ezelőtt ÅNGSTRÖM K. oly műszert szerkesztett — az úgynevezett elektromos kompenzációs pyrhéliométert —, a melyre majdnem az összes zavaró tényezők hatástalanok s a mely különösen pontos eredményeket szolgáltat. Ma úgyszólván csupán csak ezt a műszert használják s azért kissé behatóbban fogjuk leírni, mint az előbb említett műszereket, a melyeknek már csak történelmi érdekességük van. Két, manganinból készült, keskeny, alig néhány tizedrész milliméter vastagságú egyenlő lemez elülső lapján be van kormozva s ezeket felváltva teszik ki a Nap sugárzóhatásának. Azt, hogy a manganinötvény használatának mi az oka, azonnal látni fogjuk. A lemezek hátulsó lapja nagyon finom gutaperchabevonattal van ellátva, a melynek segítségével két finom rézpléhből készült lemezre van alkalmasan ráragasztva, úgy hogy a lemezek elektromosan el vannak szigetelve. A manganinlemezeken átáramló elektromosság nem juthat el a rézlemezekbe. A rézlemezek hátlapjának közepére egy-egy termooszlop van ráforrasztva, mely vékony réz- és rheotandrótból készült. Ezen elemek ellentétesen vannak kapcsolva és áramkörükbe galvanométer van iktatva. A két termooszlopból kiinduló áram ennél fogva ellentétes irányú és kölcsönösen megszünteti egymást, ha egyenlő erők, azaz ha a két rézlemez hőmérséklete pontosan azonos. Ebben az esetben a galvanométerleolvasás nulla. Ha azonban az egyik lemez melegebb, mint a másik, akkor a benne keletkezett hőelektromos áram erősebb s a galvanométer az egyik oldalon kitér.

Tegyük most fel, hogy az I. manganinlemezt a Nap sugárzásának tettük ki, mialatt a II. lemez árnyékban maradt. Az I. hőmérséklete ennél fogva emelkedik és hővezetés folytán emelkedik az alatta lévő rézlemez és a termooszlop hőmérséklete is. A hőmérséklet addig emelkedik, amíg a besugárzás és a hőnek a lemezből való elvezetése között egyensúly jön létre, a mi a szereplő részek rendkívül csekély tömege miatt nagyon hamar, alig 20—30 mp. alatt következik be. A túlnyomó I. termoáram következtében a galvanométer tűje erősen kitér. Ha az árnyékban maradt II. man-

ganinlemezen át elektromos áramot bocsátunk, akkor ez a lemez fölmelegszik és hőjét vezetés által a rézlemezzel és a II. termoszlappal közli, úgy hogy ebből az oszlopból is erősebb ellentett irányú áram indul ki, a mely az I. áramát gyöngíti, úgy hogy most a galvanométertű kitérése csökken. Az áram fokozatos erősítésével a II. hőmérséklete mindinkább emelkedik, a galvanométertű kitérése mindinkább csökken. Ha az áramot addig fokozzuk, míg a tű ismét nullát mutat, akkor a két hőelektromos áram s ennél fogva a két lemez hőmérséklete is egymással egyenlő. Ha ebben a pillanatban milliampère-méterrel megmérjük a II. manganinlemezen átbocsátott áram erejét, akkor ebből kiszámíthatjuk azt az energiamennyiséget, mely a II. lemezbe elektromos áram alakjában került. Ennek az energiamennyiségnek egyenlőnek kell lenni azzal, mely az I. lemezbe a Nap sugárzása révén került. Minthogy nem lehetséges a két lemezt stb. egymással egészen pontosan egyenlőre készíteni, a két energiamennyiség sem lesz szigorúan egyenlő, ezért aztán a folyamatot azonnal megfordítjuk és a II. lemezt tesszük ki a sugárzásnak és az I. lemezt hevítjük elektromosan. A két eredmény közepes értékéből az egyenlőtlenségek kiküszöbölődnek.

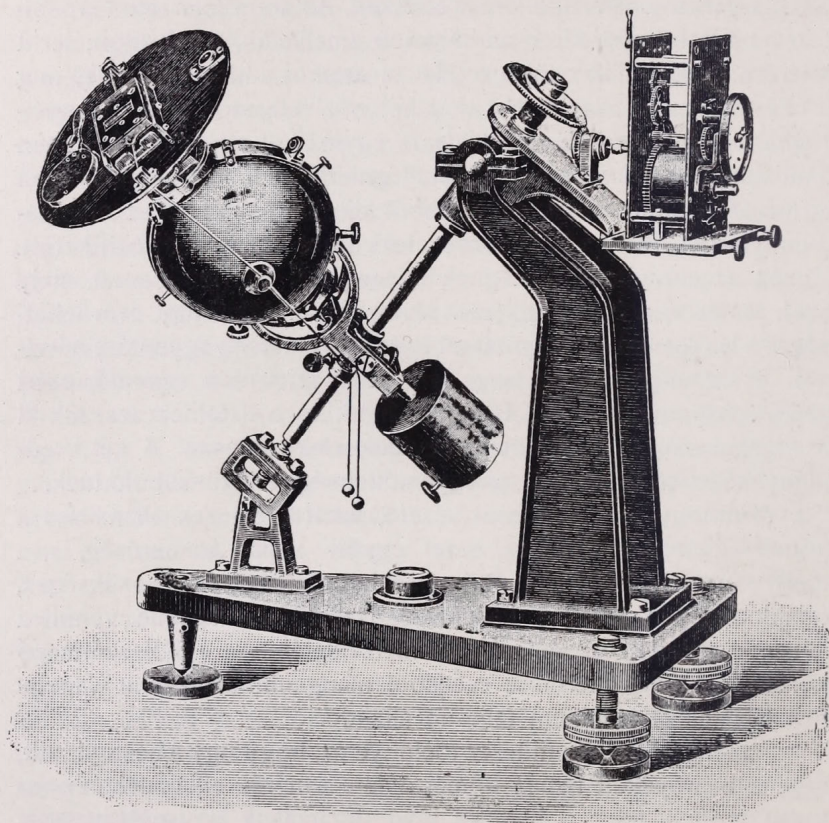
Minthogy az elektromos vezető, tehát a lemezek ellenállása a hőmérséklettel változik és ezzel együtt az az áramerősség is, a mely valamely határozott hőmérséklet előidézéséhez szükséges, tulajdonképpen ismerni kellene és számításba kellene venni a lemezek mindenkor abszolút hőmérsékletét. Az ebből származó körülményesség elkerülése czéljából manganint használunk, melynek ellenállása majdnem teljesen állandó.

Az Ångström-féle műszer főelőnye az, hogy úgy a besugárzott, mint a beárnyékolt lemez hőmérséklete a mérés pillanatában pontosan azonos, tehát a kívülről jövő sugárzások ugyanolyan mértékben befolyásolják mind a két lemezt s ennél fogva az eredményre nézve közömbösek. A műszer néhány kisebb javítása SCHEINER-től származik. A lemezeket ezüstből készült üres tartóban helyezte el, melyet kívül símára fényezett és igen kicsiny nyílással látott el. A lemezek ennél fogva fekete test belsejében foglaltak helyet s különösen szél ellen voltak jól megvédve. Azonkívül a pyrhéliométer parallaktikusan volt felállítva és hajtóór szerkezettel volt összekapcsolva, úgy hogy hosszabb időn át felügyelet nélkül is pontosan követhette a Nap járását.



A 104. rajzon láthatjuk a pyrhéliométert abban az alakban, melyet SCHEINER neki adott.

A rajzon elmaradt a számos elektromos vezeték a kép egyszerűsítése czéljából. A tulajdonképpeni Ångström-féle pyrhéliométer



104. rajz.

nem látható részei, a lemezek és a termoszlopok, a gömb belsejében vannak elhelyezve.

Ahhoz, hogy határozott, szűkebben körülírt színekprésekben energiaméréseket végezhesünk, szükséges, hogy ezeket a részeket valami módon elkülöníthessük. Erre a célra nagyon kevésé ajánlatos eszközök a színes üvegek vagy folyadékok. Kevésé

ajánlatosak azért, mert az átbocsátott sugárzás számára nem szolgáltatnak éles határokat. Sőt ezek a határok annál jobban távolodnak egymástól, mennél jobban növekszik a sugárzás intenzitása. LE CHATELIER alkalmazta ezt a módszert, amennyiben vörös üvegeket használt.

Határozott hullámhosszúságú részek vizsgálására alkalmas, magában véve kifogástalan és exakt eljárást a spektroszkópi szétbontás szolgáltat, bár különös gyakorlati nehézségek itt is vannak. Az üvegprizmákkal való spektroszkópi szétbontás teljesen ki van zárva, mert az üveg a vörösöntúli színeképrészben rendkívül erősen abszorbeál s majdnem teljesen átlátszatlan. Ezért a lencsákat és prizmákat kvarcból vagy, a mi még jobb, folyópátból kell készíteni. Legkevésebbé ugyan a kőso abszorbeál, de nagyon nehéz ebből a puha és a nedvességet könnyen felszívó anyagból síma felületeket előállítani s még nehezebb őket használható karban tartani. Ebből a szempontból sokkal ajánlatosabb a fény szétbontására prizmák helyett a fémről való visszaverődés, vagyis a fémrácsok használata. De itt zavarólag hat a nagy fényvesztesség, mely fémrácsoknál alig számítható ki. Az egyes hullámhosszúságoknak megfelelő sugárzás vizsgálata egyáltalán változatlanul hozzá van kötve a visszaverődések vagy törések felhasználásához és ha a Napsugárzás abszolút értékének meghatározásáról van szó, akkor ezzel igen kétesértékű kerülő utat vezetünk be a problémába. Ennélfogva jobb, ha erre a célra inkább csak az összsugárzást használjuk föl, a mely közvetlenül hathat a besugárzandó felületekre, amint azt fentebb láttuk. A Napsugárzás különböző hullámhosszúságának megfelelő energiának megmérése azonban magában véve is érdekes és fontos feladat, különösen azért, mert belőle megismerhetjük légkörünk fényelnyelésének természetét.

Míg a közvetlen Napsugárzás olyan erős, hogy pontos megmérése nem okoz nehézséget, addig a spektroszkóp keskeny résén keresztülhatoló sugárzás hosszú színekpszalaggá húzódik széjjel, a miáltal átlag abban az arányban gyöngül, a mely a rés szélessége és a színekp hossza között fennáll, az utóbbi  $0.3 \mu$ -tól egészen  $10 \mu$ -ig számítva. Ennélfogva rendkívül érzékeny hőmérő eszközökre van szükségünk, ha felakarjuk ismerni a hőhatást, de még inkább, ha azt meg is akarjuk mérni. Itt már a legérzékenyebb



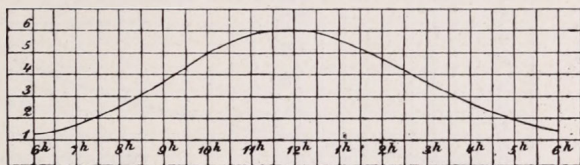
termooszlop sem elégséges többé s ezért a még sokkal érzékenyebb bolométrikus elvet kell alkalmazni, melynek alapjaival már megismerkedtünk. Az ÅNGSTRÖM-féle pyrhéliométer magyarázatánál már rámutattunk arra, hogy a fémeknek az elektromos áram iránt tanúsított ellenállása a hőmérséklettel változik, ezért kellett oly fémötvényt, t. i. manganint, alkalmazni, a melynél ez a változás nagyon csekély. A bolométernél ellenkezőleg oly fémeket kell alkalmazni, a melyeknél az ellenállás a hőmérséklettel erősen változik, milyen pl. a platina, minthogy a bolométerben éppen az ellenállásnak ezt a változását használjuk a hőmérséklet mérésére.

Ha a bolométer-lemezt a színekép oly helyére vezetjük, a melyen elnyelési sáv van, a hol tehát sugárzás nincsen, akkor ezen a helyen a galvanométer tűje a »hideg« oldal felé fog erősen kitérni. LANGLEY évtizedeken át foglalkozott a napszínekép bolométrikus energiamérésének problémájával s oly bolométereket szerkesztett, a melyek még tízmilliomodrész foknyi hőmérséklet-változást is jeleztek. Műszerét egyúttal regisztrálásra is berendezte úgy, hogy a Napszínekép energiagörbéje minden részletével automatikusan rajzolódik le. Ezt a következő módon érte el:

Nagy spektrométer asztalára kősóprizmát tett. Hajtóóraszerkezet ezt az asztalt lassan, egyenletesen forgatja (egy időpercz alatt egy ívperczczel). Héliostat segítségével a spektrométer részére napfényt vetített. A keletkező színekép lassan elvonul a mozdulatlan bolométerlemez fölött, mely 0.05 mm széles és 0.001 mm vastag. A sugárzás intenzitásának a színekép különböző részeiben való lassú növekvése vagy apadása rendkívül érzékeny galvanométer tűjével összekötött tükör lassú forgását idézi elő. Ha sötét színeképvonal vonul át a bolométerlemezen, akkor a tükör hirtelen a »hideg oldal« felé fordul. A tükrre vékony fénykéve esik, mely tükrözés folytán alkalmasan elhelyezett ernyőn fényes pontot fog előidézni, a mely pont a tükör forgásainak megfelelően fog ezen az ernyőn ide-oda mozogni, még pedig vízszintes irányban. Ez a mozgó pont ennél fogva jelzi a sugárzás menetének minden egyes részletét. Ennek a menetnek automatikus regisztrálása most már nagyon egyszerű. Az ernyő helyébe fény-érzékeny papirossal bevont hengert helyezünk, a melyet a már említett hajtószerkezet hoz lassú forgásba. A fénylő pont ezen a papirosra azután nyomot fog hátrahagyni. Ha a tükör nyuga-

lomban maradna, akkor a fénylő pont nem végezne oldalmozgást s a fotografiai papiroson a papiros-szallaggal párhuzamos, egyenes vonal keletkeznék. De ha a fénylő pont a tükör forgása következtében oldalmozgást végez, akkor a pont és a papiros mozgásának összetevéséből ferde vonal keletkezik. A papiroson így megkapjuk a sugárzás görbéjét, a melyen az éles beszögelések színképvonalakat jelentenek, míg általános menete a Napsugárzás energiájának menetét tünteti fel (lásd a 107. rajzt).

Alkalmas tiszta időben a leírt műszerek segítségével képesek vagyunk bárhol a Nap össz sugárzásának abszolút értékét, valamint a sugárzásnak a hullámhosszakhoz viszonyított energiagörbéjét nagy pontossággal meghatározni. Erre a célra különösen az ÅNGSTRÖM-féle pyrhéliométer és a LANGLEY-féle spektrobolométerek alkalmasak. A további feladat abban áll, hogy ezekből a pillanatnyi értékekből — a melyek a sugárzásnak a légkörön



105. rajz.

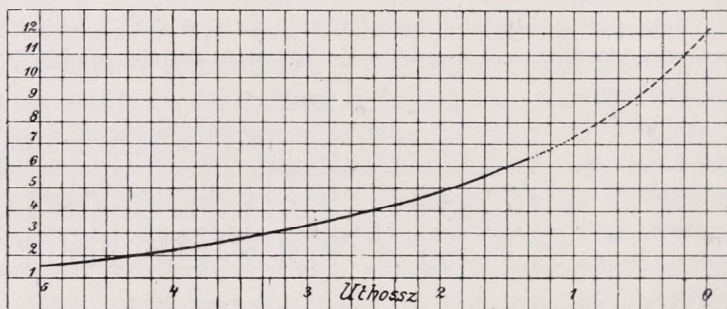
való áthatolása következtében erős módosulást szenvedtek — a légkörön kívül fennálló sugárzásértéket, a már említett szoláris állandót állapítsuk meg. Azonnal látni fogjuk, hogy ez a feladat különös nehézségekbe ütközik.

*A szoláris állandó és az effektív naphőmérséklet meghatározása.* A szoláris állandónak meghatározása a napsugárzásnak közvetlenül megmért összenergiájából, vagy pedig a sugárzásnak a légkörben történő veszteségének megállapítása oly rendkívüli nehézségeket okoz, hogy itt csak néhány egészen általános megjegyzésre kell szorítkoznunk. Ha valamely tiszta napon reggeltől estig mérjük a Nap sugárzásenergiáját, akkor oly görbét kapunk, mely délig emelkedik és innét kezdve lefelé száll, megfelelően azoknak a sugárzásvesztéseknek, a melyek a sugárnak a légkörben való különböző hosszúságától függnék. De ezen a görbén a részletekben különféle eltéréseket láthatunk s éppen ezeknek a számbavétele teszi az említett nehézségek fő részét. Példaképpen a 105. rajzban bemutatunk egy ilyen görbét. Az ordináták sugárzás-



energiát jelentenek, az abszisszatengely reggeli 6 órától esti 6 óráig tizenkét órára van osztva. A példa alapföltevése, hogy a Nap reggel négy órakor kelt fel s este nyolczkor nyugodott le.

Ha az abszisszatengelyen nem az időt vesszük főváltozóknak, hanem a sugaraknak a légkörben való úthosszát, — a melyeket a Napmagasságokból számíthatunk ki és a hol a lehető legrövidebb úthosszt, t. i. a zeniten átmenő függőlegest vesszük hosszegységgül —, akkor pl. a 106. rajzban feltüntetett görbét kapjuk eredményül, a mely csak a délelőttnek megfelelő részt tünteti fel. Ha a megfigyelést oly helyen végezzük, a melyen a Nap nem ér a



106. rajz.

zenitbe, akkor az észlelt görbe (rajzban teljes vonallal van kihúzva) nem ér el egészen az 1-el jelzett úthosszig, hanem már előbb megszakad. A még hiányzó rész még a mi szélességünk alatt is a nyár derekán csak kicsiny és könnyen kiegészíthető (rajzunkban ezt pontozott vonal jelzi), úgy hogy nagy pontossággal tudhatjuk meg a sugárzás értékét, melyet a Nap a zeniten elért volna.

Meteorológiai czélokra különösen fontos annak az ismerete, hogy mekkora a napsugárzás energiája zenit-állásban, más szóval az egységyi úthossznál. A mi feladatunk megoldására nézve ez az érték csak annyiban fontos, hogy a szoláris állandó értékéhez csak úgy juthatunk, ha görbénket még rajta túl folytatjuk a null hosszig menő nagy darabon, melyet rajzunkban a szakadozott vonal jelez. Itt ismét érvényes az, a mit már a 286. lapon mondtunk: ilyféle extrapoláció bizonyos mértékben mindig bizonytalan s az olyan egyszerű grafikus folytatás, a minőt a 106. rajz-

ban engedtünk meg magunknak, természetesen teljesen önkényes s minden tudományos értéket nélkülöz. A feladat rendkívül bonyolult s csupán a napsugárzás megfigyelése alapján nem juthatunk el a megoldáshoz, hanem segítségül kell vennünk speciális laboratóriumi vizsgálatokat a levegő alkotórészeinek visszaverődési és elnyelési tulajdonságairól. Nagyon messze vezetne, ha ennek részletesebb tárgyalásába akarnánk bocsátkozni.

A feladat említett nehézségei következtében a szoláris állandó eddig talált értékei nagyon eltérők, miként a következő összeállításból is látható:

1837.	POUILLET	...	...	1·8	gramm	kalória.
1860.	HAGEN	...	...	1·9	»	»
1872.	FORBES	...	...	2·8	»	»
1875.	VIOLLE	...	...	2·6	»	»
1878.	CROVA	...	...	2·3	»	»
1884.	LANGLEY	...	...	3·1	»	»
1889.	SAWELIEF	...	...	2·9	»	»
1889.	PERNTER	...	...	3·2	»	»
1896.	VALLOT	...	...	1·7	»	»
1897.	CROVA ES HANSKY	...	...	3·4	»	»
1898.	RIZZO	...	...	2·5	»	»
1902.	SCHEINER	...	...	2·3	»	»

A szoláris állandó legvalószínűbb értékéül talán 2·3 gramm-kalória vehető.

Ezzel az értékkel és a napkorong látszólagos átmérőjével (31' 59·3'') a STEFAN-féle sugárzástörvény alapján 6200°-ot kapunk a Nap valóságos hőmérsékletének értékeül.

Itt felemlítjük, mint érdekes tény, azt a bizonytalanságot, a mely a Nap hőmérsékletére vonatkozólag a sugárzástörvények felfedezése előtt uralkodott; régen a Nap hőmérsékletére vonatkozólag az 1500° és 10 000 000° között fekvő értékeket fogadták el. A mai bizonytalanságot alapjában csak az okozza, hogy a szoláris állandó értékét még nem ismerjük pontosan. De éppen minthogy a sugárzás oly rendkívül erős mértékben növekszik a hőmérséklettel, a szoláris állandó bizonytalansága csak nagyon kevésbé módosítja a Nap hőmérsékletének értékét. Innen van azután az, hogy a szoláris állandó legkisebb megfigyelt értékének: 1·8 gramm-kalóriának 5600°-os naphőmérséklet felel meg, míg a legnagyobb értéknek: 4 gramm-kalóriának 7000°. Jelenlegi ismere-

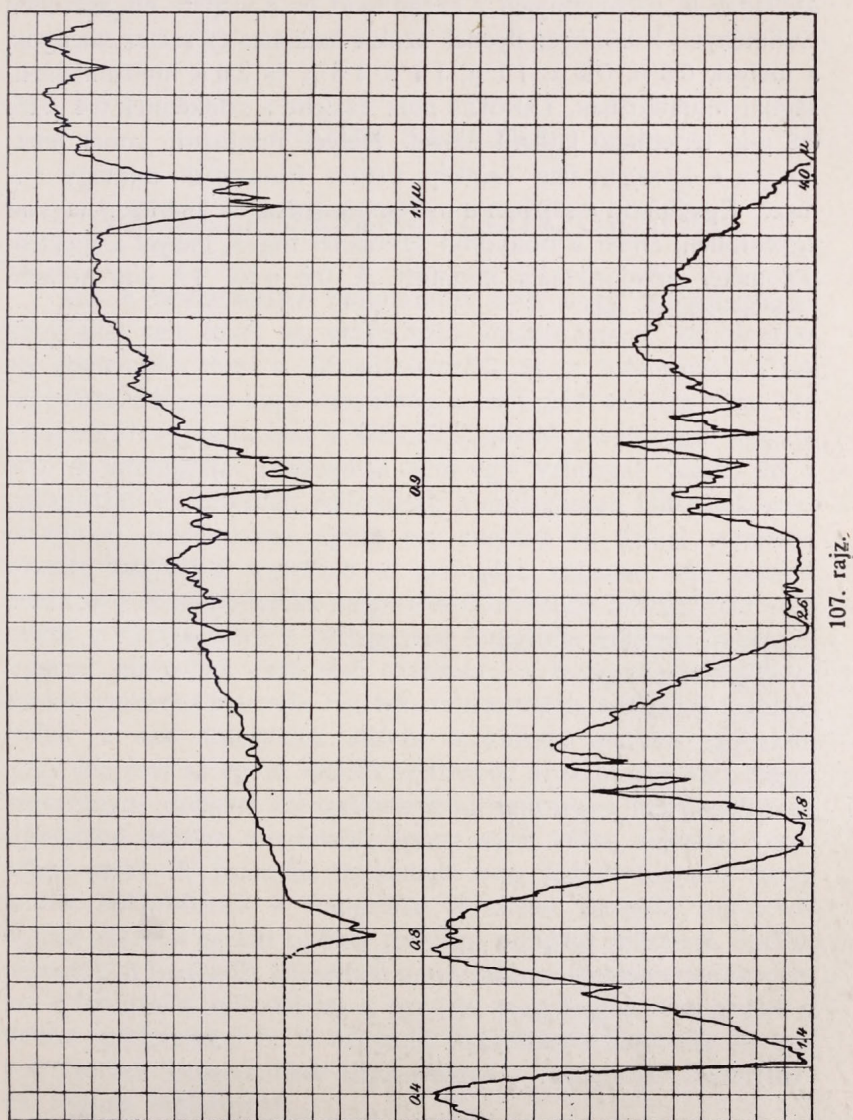


teink szerint a Nap effektív hőmérsékletéről szóló adatok minden körülmények között ezen szűk határok közé vannak szorítva. Valószínű, hogy az előbb említett  $6200^{\circ}$ -nyi érték legfőljebb  $200^{\circ}$ -ig bizonytalan. Bármennyire öröndetes az asztrofizikának ez a vívmánya, mégsem szabad elfelednünk, hogy az effektív naphőmérséklet csak fogalom és nem reális csillagászati állandó. A Nap valódi hőmérsékletének kiszámítása az effektív hőmérsékletből ismét nagy nehézségeket és bizonytalanságokat okoz. Ezekről könyvünk második részében a Napról szóló fejezetben fogunk egyet-mást elmondani.

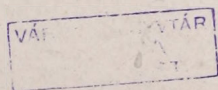
Láttuk már, hogy valamely sugárzó test effektív hőmérsékletét a sugárzás maximumának helyzetéből is megállapíthatjuk, amennyiben a WIEN-féle eltolódás-törvény értelmében a sugárzás-maximumnak megfelelő hullámhosszúság felette egyszerű módon függ össze a hőmérséklettel. Ezt a módszert a Nap hőmérsékletének meghatározására különösen LANGLEY használta fel. Ez úton tetemesen kisebb értékhez jutunk, mint azösszsugárzás méréseiből. Ezek az értékek  $5000^{\circ}$ -nál kisebbek, a mi azt jelenti, hogy a Nap színképében a sugárzás maximuma sokkal erősebben fekszik a vörös felé, semmint a fönt talált hőmérsékletből következnek. Az ellenmondást az a körülmény magyarázza meg, hogy több oknál fogva a Nap hőmérsékletének meghatározására a második módszer kevésbé alkalmasnak kell tartanunk, mint az első. A sugárzás légkörbeli elnyelése különösen a vörösben és a vörösöntúli részben erősen hat a sugárzásgörbe alakjára. A maximum ezáltal valóban a vörös felé tolódik el oly értékkel, melynek meghatározása legalább is ugyanolyan nehézségeket okoz, mint azösszelnyelésnél. Sokkal súlyosabban esik latba az a körülmény, hogy a színképpé való szétbontás céljából a sugárzásnak optikai közegeken kell keresztülhaladnia és fémfelületeken visszaverődést kell szenvednie, a mi szintén hatással van a sugárzásgörbére.

A LANGLEY-féle spektrobolométriai vizsgálatok sokkal többet használtak a Nap színképének vörösöntúli részére vonatkozó ismereteink tisztázásánál, mint a Nap hőmérsékletének megállapításánál. Ez a hasznosság áll különösen a vörösöntúli részben mutatkozó rendkívül erős elnyelésre, melyet a légköri széndioxid és vízpára idéz elő. A 107. rajz kibővített mása a LANGLEY-féle vörösöntúli színképnek a  $0.8 \mu$ -tól egészen  $4.0 \mu$  hullámhosszúságig. A görbe

legkisebb bemélyedései, a melyek a kisméretű rajzon csak nagyjából vannak jelezve, az elnyelési vonalak helyzetét mutatják, mint-



hogy minden sötét vonal helyén a sugárzás intenzitásának kisebb vagy nagyobb csökkenése áll be. A görbe horpadásának mély-





sége a vonalak erősségére szolgáltat mértéket: A sugárzásgörbe nagyobb mélyedései, melyek helyenként egészen 0 intenzitásig szállanak le, valamennyien a széndioxid és a vízpára elnyelésének eredményei. Különösen ilyenek azok a hatalmas és széles szalagok, a melyek  $0.8\ \mu$ ,  $0.9\ \mu$ ,  $1.1\ \mu$ ,  $1.4\ \mu$ ,  $1.8\ \mu$  és  $2.6\ \mu$  hullámhossznál mutatkoznak. LANGLEY nem észlelte a színeknek  $0.4\ \mu$ -tól  $0.8\ \mu$ -ig terjedhető látható részét. Helyét pontozott vonal jelzi; hossza a LANGLEY-féle színekép összes hosszának mintegy  $\frac{1}{10}$  része. Egyébiránt a rajzban a hullámhosszúságok mértéke nagyon egyenlőtlen, annál a bonyolult szórásnál fogva, melyet a spektrométer kősóprizmája mutatott. A  $0.8\ \mu$ -tól  $1.4\ \mu$ -ig terjedő rész a színekép fele.

## ÖTÖDIK SZAKASZ.

### A CSILLAGÁSZATI FOTOGRAFIA.

Már a bevezetésben rámutattunk arra, hogy a csillagászati fotografiát nem lehet az asztrofizika önálló ágának tekintenünk oly értelemben, mint a színeképelemzést és a fotométriát. Csak segédtudomány ez, vagy mesterség, a mely mint minden téren, így a tiszta csillagászatban is, korszakot alkotó jelentőségre emelkedett. A fotofotografia bevezetése nem egy változást idézett elő a csillagászati technikában, különösen a csillagászati műszerek szerkezetében. Alkalmazása egész sor kémiai és fizikai ismeretet követel, melyekkel régebben a csillagász sokszor nem rendelkezett, míg az asztrofizikus mégis többé-kevésbé birtokukban volt. Ebből a szempontból a csillagászati fotografia különös figyelmet érdemel könyvünk ezen első részében; a fotografia szolgáltatott eredményekkel a második részben minduntalan találkozni fogunk. Habár a mai fotografiai eljárás technikája annyira egyszerű, hogy ma már az egész művelt emberiség közkincsévé vált, mégis tudományos célokra elengedhetetlenül szükséges, hogy ezeket az eljárásokat teljesen megértsük, éppen ezért külön fejezetet szentelünk neki. A második fejezetben meg fogjuk mutatni, hogy miben különböznek a fotografiai főlvetelre szolgáló műszerek optikai részei a tisztán optikai célokra szolgáló műszerek optikai részeitől. A harmadik fejezetben pontosabban megismertetjük ezeket a fotografiai műszereket s egyúttal meg fogjuk magyarázni a mérési módszereket is. A negyedik fejezetben a harmadik fejezetben szerzett ismereteinkre támaszkodva a fotografiai fotométriával fogunk foglalkozni.

---



## TIZENNEGYEDIK FEJEZET.

## A fotografiai technika és a fotografiai képek keletkezése.

Rövidebb hullámhosszúságú sugárzás — mintegy  $0.49 \mu$ -tól (a zöld színben) kezdődőleg egészen messze az ibolyántúli részbe, ismeretlen határig — különösen alkalmas arra, hogy a tőle ért anyagokban kémiai változásokat idézzon elő, bár ezen sugárzás abszolút energiája meglehetősen csekély, még a Naphoz hasonló magas hőmérsékletű sugárzó testeknél is. Ezért ezeket a sugarakat fotografiaiilag vagy kémiaiilag hatásos sugaraknak, vagy rövidebben fotografiai sugaraknak nevezzük. A kémiai hatássóság azonban nem kizárólag ezen sugaraknak a tulajdonsága. Van számos anyag, többnyire meglehetősen bonyolult kémiai vegyületek, a melyekre más sugarak, még vörösöntúliak is kémiai hatással vannak.

Azt már régóta tudják, hogy a fénynek kémiai hatása van. Így pl. különösen a napfény fehéritő hatása régóta ismeretes, bár általában ez nem tisztán a sugárzás hatása, hanem még más, a levegőben jelenlevő oxidáló anyagok is működnek közre. A fénynek egyik legismertebb és legfontosabb kémiai hatása a növényekben érvényesül a klorofill közvetítésével. Már a XVI. század óta ismeretes, hogy bizonyos fémötvények fényben feltűnő változást szenvednek. A klórezüst kémiai viselkedéséről szóló pontosabb vizsgálatokat SCHEELE 1777-ben hozta nyilvánosságra s ezzel az időponttal veszik kezdetüket a fotográfia körébe vágó tulajdonképpeni tudományos munkálatok. Csakhamar egész sor eljárás vált ismeretessé, a melyeknek segítségével rézmetszetek és üvegfestmények másolatát lehetett elkészíteni. Mindezeknél az eljárásoknál a fénynek teljesen szét kellett bontania az alkalmazott vegyületeket, éppen úgy, mint még most is a legtöbb szokásos másolási eljárásnál. Ehhez tehát igen erős fényforrásnak nagyon hosszú idejű hatása szükséges. Gyakorlati jelentőségre a fotográfia csak akkor tett szert, mikor megtanulták a fényt csupán a kémiai folyamat *bevezetésére* vagy *megindítására* fölhasználni

(lappangó kép), a tulajdonképpeni szétbontás munkáját pedig tisztán kémiai úton végezni. Ezzel a megvilágítás vagy kinn-tartás idejét rendkívüli mértékben meglehetősen rövidíteni és csak most vált lehetségessé a már régóta ismeretes *camera obscura*, vagy sötét kamara képeinek rögzítése. Az összes közvetlen fotografiai eljárások még ma is a lappangó képek előállításának elvén alapszanak és lényegben főleg arra törekednek, hogy legkisebb időre csökkentsék a fénynek a lappangó kép előállítására szükséges munkáját. Az eljárást DAGUERRE (1839.) fedezte föl, ki részben NIÈPCE-szel közösen éveken át foglalkozott előzetes kísérletekkel.

A daguerreotípiánál az eljárás a következő: Ezüstlemez vagy erősen ezüstözött rézlemez előzetes fényezés és gondos tisztítás után zárt üvegben jódt- vagy brómgőzök hatásának tesznek ki. A lemez felületén ezáltal vékony jódt-, illetve brómréteg keletkezik, melynek fényérzékenysége függ a gőzök hatásának időtartamától, vagyis a keletkezett réteg vastagságától.

A lemez színéről meg lehet ismerni, hogy mikor érte el a réteg azt a vastagságot, a mely tapasztalás szerint a fény iránt a legnagyobb fokban érzékeny. A lemez ezt az érzékenységet néhány órán át megtartja. A lemezt a fény hatásának teszszük ki s azután melegített higanyt tartalmazó szekrénykébe helyezzük. A higany gőze néhány percz alatt előidézi a lappangó képet azáltal, hogy finom csöppecskék alakjában lecsapódik azokra a helyekre, ahol a jódezüst a fény hatásának volt kitéve. Ha most a lemezt nátriumthioszulfát oldatában fürösztjük, akkor a szét nem bontott jódezüst kimosódik és ezáltal a kép egyelőre rögzítődik. A végleges állandósítást azáltal érjük el, hogy a lemezt aranykloridoldatba tesszük. Ezáltal a képen a világos helyek, a melyek eleinte kékesek voltak, tiszta fehér színt öltenek.

A daguerreotip eljárásnál végbemenő tulajdonképpeni kémiai folyamatok nem ismeretesek. Eleinte azt hitték, hogy a fény hatása a jódezüstöt fémes ezüstté redukálja és hogy ez a fémes ezüst valami fehér amalgám keletkezése közben egyesül a higanyval. Később azt tartották, hogy a folyamat tisztára mechanikai. Úgy képzelték, hogy a fény hatására a jódezüstréteg összefüggése meglazul, úgy hogy a higanygőz csak ezeken a helyeken tud egészen az ezüstlemez felületéig hatolni. Ezt a föltevést némileg



igazolta az a tapasztalat, hogy a lappangó képet rövid időre pusztá ráleheléssel is elő lehet idézni, a mennyiben a vízpára a fény hatásának kitett helyeken könnyebben csapódik le, mint egyebütt; ez emlékeztetett t. i. azokra az ismeretes képekre, a melyek rálehelés következtében válnak láthatóvá. Viszont chemiai folyamat mellett bizonyít az a körülmény, hogy daguerreotip-képek pyrogallussal is előidézhetők.

A DAGUERRE-féle eljárást csekély érzékenysége és nagy körülményessége miatt a csillagászatban kevésbé alkalmazhatták. Sokáig valóban csak a Nap fölvételeire használták föl ezt a módszert.

A nedves kollódium felhasználását fotografiai célokra LE GRAY javasolta 1850-ben, de eljárása a gyakorlatban nem vált be. Az eljárást ARCHER vezette be 1851-ben s ez csakhamar kiszorította a daguerreotípiát.

Gondosan megtisztított üveglemezt kollódiummal öntünk le. A kollódium robbanó gyapotnak (pyroxylin) éteres és alkoholos oldata. Az oldóanyag gyorsan elpárolog s a pyroxylin finom szerkezet nélküli hártya alakjában marad vissza. Ez a hártya alapja a fotografiai eljárásnak. A robbanó gyapot előállításmódja s az oldószer összetétele észrevehetően hatással van a kép minőségére. Nagy tapasztalat szükséges annak felismerésére, hogy a különböző célú felvételekhez eltaláljuk a kollódiumnak legcélszerűbb készítmódját. A kollódiumhoz csekély mennyiségű jódkáliumot elegyítünk, a mely szintén finoman eloszlott állapotban van jelen a pyroxylinhártyában. Mikor a hártya megszárad, a lemezt néhány perczre ezüstnitrátoldatba mártjuk, miáltal a hártyán rendkívül finom jódezüstcsapadék keletkezik és a lemez átlátszatlan fehér színt ölt. Az ezüstoffürdőnek már telítve kell lennie jódezüsttel, nehogy az újonnan keletkezett jódezüst benne ismét feloldódjék. Az ezüstoffürdőből kivett lemezt azonnal fel kell használni, mert csak addig érzékeny, amíg nedves. Leöblíteni sem szabad a lemezt, mert a rátapadó ezüstnitrát-oldatnak fontos szerepe van a kép keletkezésénél. A kép előidézése céljából majdnem kizárólag ferroszulfátot használtak, a melybe jégecetet vagy néhány csepp kén-savat vagy alkoholt öntöttek azért, hogy a kollódiumhártya az előidéző szert jobban magába vegye.

Ha a kép az előidézés után nem elég erős, a képet megerősíthetjük olyanformán, hogy frissen elkészített vastartalmú elő-

időzöböl és ezüstnitrátból álló keverékkel leöntjük. Az előidézés folyamatának az a lényege, hogy a jódezüstöt a fény hatásának kitett helyeken a vassó ezüstté redukálja. Az ezüst a kollódium-hártyában nagyon finoman elosztott fekete csapadék alakjában kiválik. A kép rögzítése olyanformán megy végbe, hogy a felbontatlanul maradt jódezüstöt nátriumthioszulfáttal vagy cziánkáliummal feloldjuk.

A rögzítés után a lemezt gondosan meg kell mosni, hogy a kép keletkezésénél szerepelt sók utolsó nyomait is eltávolítsuk. A képet a rögzítés *után* is erősíthetjük, még pedig vagy pontosan ugyanazon módon, mint a rögzítés előtt szokás, vagy pedig más módszerek szerint, a melyek közül legegyszerűbb az a módszer, melylyel a fémezüst-képet merkurooxidképpé alakítjuk át. Erre a célra a lemezt merkurokloridoldatba tesszük, miközben a fémes ezüst helyén klórezüst és merkurochlorid elegye keletkezik. Ammoníával való leöntés által ez az utóbbi elegy az ezüst és higany-oxidnak erősen fekete elegyév alakul át.

A különböző fotografiai eljárások összehasonlításáról később lesz szó. Itt rá kell mutatnunk a nedves kollódiumos eljárás egyik hátrányára, mely különösen a csillagászati fotografiánál nyilvánul erősen. Ennek az az oka, hogy a kinntartás (expozíció) ideje nagyon szűkre van szabva, még pedig azért, mert a beszáradást minden körülmények között el kell kerülni; a lemez előállítása és az előidézés között legfőljebb 15 percznek szabad eltelni. E hátrányon a kollódium-emulziók feltalálása segített. Ennek eszméjét GAUDIN már 1853-ban kimondotta, de a gyakorlatban az első sikereket 1861-ben érték el. Ebben az időben az emulziós eljárások egész sora keletkezett, végül 1864-ben SAGRE és BOLTON a kollódiumos brómezüst-emulziót vezette be, mely valamennyi ilyen eljárás között a legjobb. A különféle emulziós eljárásoknak az a lényege, hogy a fényérzékeny ezüstsót magában külön kell előállítani s azután a sűrűnfolyós kollódiumban finoman elosztani úgy, hogy ne ülepedjen le, hanem benne egyenletes elosztásban mechanikailag lebegve maradjon. A lemezeket ezzel a kollódiummal, az ú. n. emulzióval öntik le. Száradás után a lemezek rövidebb-hosszabb ideig elraktározhatók a nélkül, hogy megromlanának. A lemezek tartóssátételére nagyszámú receptünk van. Igen gyakran használták erre a tanninoldatból, galluszsavból



készült fürdőt s. i. t. Ezek a szerek egyébiránt nem csupán az emulziós lemezek tartósságát fokozzák, hanem érzékenységüket is, azonban az emulzió csak ritkán éri el a nedves kollódium érzékenységét.

A kollódium-emulziós eljárással egyidejűleg arra is találtak föl módszereket, hogy a kollódiumlemezeket az ezüstnitrát gondos leöblítése után meg lehessen szárítani s hosszabb időre tartóssá tenni. Az így készült lemezek azonban nagyon érzéketlenek. FOTHERGILL jött rá arra, hogy kollódium és albumin egyidejű alkalmazása nagyon jó eredményekre vezet, bár ezek a lemezek is nagyon érzéketlenek.

NİPCE már 1847-ben kísérletezett azzal, hogy a zselatint használja a fényérzékeny anyagok hordozójaként. De csak 1871-ben fedezte föl MADDOX a zselatinos brómezüst-emulziós eljárást, mely néhány további tökéletesítés után annyira kényelmesnek és oly rendkívül érzékenynek bizonyult, hogy minden más negatív eljárást majdnem teljesen kiszorított. A zselatinlemezek bevezetése a csillagászati fotografiára volt a legnagyobb jelentőséggel. Az ég fotografálása tulajdonképpen csak ettől az időtől fogva kezd szerepelni a csillagászatban. Ez okból kissé behatóbban kell foglalkoznunk ezzel az eljárással.

A zselatin-emulzióhoz majdnem kizárólag a brómezüstöt használják, minthogy a fény hatása iránt ez a legérzékenyebb. A brómezüst a folyékony zselatinban keletkezik. Hosszabb melegítés következtében az emulzió egyre érzékenyebb lesz, míg végül az előidéző szer megelőző fényhatás nélkül is szétbontja a brómezüstöt, a mikor aztán már nem használható fotografálásra. A zselatin megmerevedése után gondos öblítéssel tökéletesen el kell távolítani a zselatinban feloldott kálsalétromot, mely a brómezüst előállításakor keletkezett. A zselatint azután melegítéssel ismét folyóssá teszik, filtrálás által megtisztítják s végül üveglemezekre öntik. Az emulzió a megszáradás után az üveglemezen vékony, de nagyon erős és ellenálló réteg alakjában marad meg. Jó csomagolásban az ilyen lemezek több évig megtartják érzékenységüket, sőt néhány hónapon át érzékenységük növekszik s utóbb aztán csökkenni kezd.

Azt, hogy miben áll a fény tulajdonképpeni hatása a brómezüstre, éppen oly kevésbé tudjuk, mint a többi eljárásnál. Igen

intenzív és hosszú megvilágításnál a brómezüstöt a fény közvetlenül felbontja ezüst kiválása közben; de gyöngé fényhatás is elegendő ahhoz, hogy a brómezüstből redukáló anyagok jelenlétében az ezüst teljesen kiváljon. Az előidézés után a nem redukált brómezüstöt nátriumthioszulfátban való feloldással szokás eltávolítani. Ezáltal a kép rögzítődik és ezután a zselatinban még megmaradt sókat hosszabb mosással el kell távolítani. A lemeznek fürösztése timsósoldatban a zselatint keményebbé és egyúttal tisztábbá teszi.

Brómezüstlemezek előállításával a csillagász inkább ne foglalkozzék. Ehhez a munkához különös gyakorlottság és sok idő szükséges. Különben is az egyes ember, miután általában csak korlátolt eszközökkel dolgozhatik, egyáltalán nem is tud olyan jó s különösen olyan egyenletesen érzékeny lemezeket készíteni, mint a hogyan ezt a nagyobb gyárak tehetik. Még akkor is ajánlatosabb gyártól rendelni a lemezeket, ha valami különös célra speciális tulajdonságokat követelünk a lemezektől. Ellenben ajánlatos a lemezeket pontos vizsgálatnak alávetni, még pedig nemcsak az érzékenységet és szemecskézettségének finomságát kell megvizsgálni, hanem mindenekelőtt a zselatinréteg tisztaságát. Semmi sem kellemetlenebb a csillagászati fölvételekre nézve, mint mikor a zselatin apró tisztátlanságokkal van tele, a melyek némelykor még mikroszkóppal sem különböztethetők meg a csillagoktól, mint-hogy az előidézéskor erősebb lecsapódást okoznak maguk körül. Talán nem olyan kellemetlen a még nedves lemezekre lerakódó por mert ez könnyebben felismerhető. De mindenesetre rontja a fotografiát és károsan hat a mérésekre, ha a tisztátalanság véletlenül valamely csillagra vagy a lemeznek valamely megméréendő pontjára rakódott le. Az előidéző vagy rögzítő folyadékban levő por vagy csapadék könnyen eltávolítható, különösen ha a lemezt a rögzítés után rövid ideig timsós oldatban fürösztjük. A lemezt e célból vízbe mártjuk és a zselatinréteget ujhegygyel gyöngéden ledörzsöljük, miközben természetesen gondosan vigyázunk arra, hogy körmünkkel hozzá ne érjünk a zselatinréteghoz. A lemezt ezután erősen folyó vízben leöblítjük. A külsőleg ráakódott tisztátalanságokat ilyen módon teljesen eltávolíthatjuk a lemeztől. Sokkal veszedelmesebb az a por, mely száradás közben rakódik a lemezekre. Ezt egyáltalán nem lehet többé eltávolí-



tani még akkor sem, ha a zselatinréteget még egyszer föláztatjuk. Minthogy a száradás még nyáron is több órát vesz igénybe s a por még kevésbé használt helyiségben is elkerülhetetlen, azért legjobb a lemezeket szekrényekben szárítani, melyeknek oldalfalai s fedelei két réteg nagyon finom musszlinből vannak készítve. Szélben vagy léghuzamban sem tart rövidebb ideig a száradás, mint szekrényben s az utóbbi esetben a lemezek teljesen pormentesek maradnak.

Az előidézés módja természetesen hatással van a keletkező negatívra, de egyáltalán nem abban a mértékben, mint a hogy azt a minden évben nagy számban feltalált új szerves előidéző folyadékok dicsérő ajánlásából föltenni lehetne. Ellentétben a legtöbb hivatásos fotografus nézetével könnyen bebizonyítható, hogy az előidéző folyadéknak majdnem semmiféle hatása sincs a lemezek érzékenységre s a szemecskék finomságára, vagyis arra a két tulajdonságra, mely a csillagászati fotográfiában a legfontosabb.

A megvilágítás által a rétegeknek bizonyos helyein a bróm-ezüstrészecskék úgy módosulnak, hogy redukáló anyagokkal érintkezve könnyebben bomlanak alkotórészeikre, mint a világosság hatásának ki nem tett részek. Minden redukáló folyadék (előidéző vagy előhívó) kelleténél hosszabb hatás után végül a meg nem világított részeket is redukálja; ez a fátyolos kép egyik oka. Ez a tulajdonsága megvan általában minden használható előidéző folyadéknak, a vasoxaláttól kezdve egészen a legbonyolultabb szerves előidéző folyadékig. Különbség csak az időtartamban van, a melyen belül a helyes előidézés végbemegy.

Ez a megjegyzés természetesen csak azoknak a fényhatásoknak az előidézésére vonatkozik, a melyek a leggyengébbek voltak s a melyek éppen hogy hatottak. Ha tehát pl. arról van szó, hogy csillagfölvételt akként kell előidézni, hogy a csillagok száma a lehető legnagyobb legyen, akkor erre a célra bármelyik közönségesen használt előidézőt használhatjuk. De az előidézést csak addig szabad folytatni, a míg a lemezek meg nem világított helyei sötétedni kezdenek, vagy a mint mondani szokás, egészen a fátyol keletkezéséig. Ekkor elérték a lehető legnagyobb ellentétet a meg nem világított és a leggyengébben megvilágított

helyek között. A további előidézés csak csökkentheti ezt az ellentétet a háttér sötétítése által. Ebben az értelemben véve a lemez érzékenysége független az előidéző folyadék minéműségétől, föltéve, hogy teljes erejét kihasználják. De azért mégis van némi jogosultsága annak a nézetnek, hogy a különféle előidéző folyadékok érzékenységbeli különbséget vonnak maguk után, amikor oly negatívok előállításáról van szó, a melyekről másolatokat kell készíteni. Némely előidéző folyadék, pl. a pyrogallus-sav az ezüstcsapadékot barnára festi. Ez a csapadék ennél fogva a kék és ibolyaszínű fényt csekélyebb mértékben bocsátja át, mint a kékes csapadékok, aminők pl. vasoxalát alkalmazásakor keletkeznek. Másolásnál tehát barna negatívok úgy hatnak, mintha más negatívoknál erősebbek lennének.

Az előidézők töménységének módosításával vagy pedig gyorsító, illetve lassító szerek hozzáadásával hatalmunkban van különböző keménység-fokozatokat feltüntető negatívokat előállítani. De ugyanezt az eredményt a lemezek különféle előállítási módjaival is elérhetjük, a miről előbb egyet-mást el fogunk mondani.

Szokás kemény és lágy lemezeket megkülönböztetni. A leggyengébb fényhatások iránti egyenlő érzékenység mellett a kemény lemezek előbb érik el a feketedés maximumát, mint a lágy lemezek. A kontrasztok ennél fogva erősebbek, a közép-fokozatok gyengébbek. Kemény lemezeket tehát előnyösen ott használhatunk, ahol a képnek lehetőleg erős kontrasztokat kell feltüntetnie. De hasonló eredményt az előidézéssel is lehet elérni, a mint azt a csillagászati fotográfiából vett néhány példán látni fogjuk.

1. Az a célunk, hogy lehetőség szerint a leggyengébb fénylenyomatokat idézzük elő, anélkül, hogy különös súlyt helyeznénk a kontraszt-hatások gazdagságára. Ilyenek pl. a hosszú kinttartás-idővel készült fölvételek fényben szegény csillagokról, ködfoltokról, üstökösökről stb. Ebben az esetben bármilyen, de lehetőleg erősere készített előidézőt fogunk használni lassítószer (brómkálium) nélkül, és a képet addig idézzük elő, a míg a fátyol első nyomai kezdenek láthatóvá válni. Az előidéző választásánál csak a használat kényelmességére és a hatás biztosságára legyünk tekintettel. Az első pontra nézve mindenkinek meg lesznek a maga külön nézetei és teljes joggal azt az előidézőt fogja előnyben részesíteni, a mellyel maga a legtöbbet dolgozott. De különös tekintetek is mértékadók



lehetnek. Így pl. nem használhatjuk a különben oly kényelmes és biztos vas-előidézőt, ha a rendelkezésünkre álló víz erősen mésztartalmú, mert különben mészfátyol keletkezik a lemezeken.

2. Ha mérés céljára fényesebb csillagokról akarunk fotográfiákat készíteni, akkor a csillagok képének a lemezen lehetőleg élesnek és jól határoltnak kell lennie. Ebben az esetben ajánlatos, ha a szükségesnél hosszabb ideig exponálunk, de a különben erősre készített előidézőbe erős adag brómkáliumot öntünk, az előidézést azért mégsem folytatjuk sokáig. Ily módon a fölvétel nagyon kemény lesz.

3. Ha olyan fölvételeket akarunk készíteni, melyeknek nagyon keményeknek kell lenniök, de azért mégis még a leggyengébb fénybenyomásokat is fel kell tüntetniök, a következőképpen járunk el. Erre a célra szintén brómkáliumot fogunk az előidézőhöz elegyíteni, de aránylag csak kis mennyiséget, azonban hosszabb ideig fogjuk folytatni az előidézést, míg a brómkáliumcsillapítás daczára mégis mutatkozni kezd a fátyolkeletkezés.

A felsorolt rövid példák szolgáljanak tájékoztatásul. További részletes utasításokat általánosságban nem adhatunk, mert az előidéző folyadék választásától függnek.

Röviden megismerkedtünk a fotografiai eljárásokkal s most össze fogjuk hasonlítani, hogy a csillagászati fotográfiában egymással szemben micsoda előnyöket mutatnak. A csillagászati fotográfiában a fotografuslemeznek általában két tulajdonsága esik latba: a lehető legnagyobb fényérzékenység és az ezüstszemecskék lehető legnagyobb finomsága. Az első követelmény magától értetődik. Alóla csak egy kivétel van, amikor t. i. a Napot kell lefotografálni, ebben az esetben túlsok fény játszik közre; ez a túlfényesség esetleg még a Hold fölvételénél is fennforoghat. A második követelmény érthetővé lesz, ha meggondoljuk, hogy a fotográfiának a csillagászatban való alkalmazásának végcélja a lemezen való pontos mérés. De világos, hogy jobban lehet kimérni az olyan képeket, a melyeknek szemecskézettsége finom, mint az olyanokat, a melyek a mérőmikroszkóp alatt durva krétarajzhoz hasonlítanak.

A különböző eljárások érzékenységét természetesen csak közepes számokkal fejezhetjük ki, mert még ugyanazon eljárás mellett is tetemes különbségek fordulhatnak elő a különböző

módosítások szerint. Legérzékletlenebb a DAGUERRE-féle eljárás. Ha ennek érzékenységét 1-el jelöljük, akkor a száraz kollódium-lemezek érzékenysége 2-től 10-ig terjed. A nedves kollódium-lemezek már érzékenyebbek; érzékenységüket 15—30-al jelölhetjük. A legérzékenyebb modern brómezüst-zselatinlemezek érzékenysége hatalmas módon emelkedik: érzékenységük a 300-at is eléri.

Már ezekből a számokból is kiderül, hogy az ég fotográfálásának legtöbb feladatánál csakis a brómezüst-zselatinos eljárás jöhet szóba, sőt a csillagászati fotográfiának az utolsó két évtizedben végbement hatalmas föllendülése egyenesen ezen eljárás feltalálásához fűződik. Ezen eljárás előnye még szembetűnőbbé válik, ha hozzávesszük azt a körülményt, hogy a kinntartás idejét szinte korlátlanul meghosszabbíthatjuk. A nedves kollódiummal való legérzékenyebb eljárásnál a kinntartás idejét legföljebb 15 perczig lehet kiterjeszteni. Manapság semmi rendkívüli sincs a több éjjelen folytatott oly fölvételekben, a melyeknél a kinntartás ideje 20 vagy 25 órát tesz ki. A százszoros kinntartási idő tehát egészen jól alkalmazható s emellett közel ugyanolyan arányban növekszik az érzékenység is.

A brómezüst-zselatin eljárásnak ezen megbecsülhetetlen előnyeivel szemben vannak bizonyos hátrányai is. Úgylátszik, mintha valami változhatatlan törvény azt követelné, hogy a fokozódó érzékenységgel együtt az ezüstszemecskék durvasága is növekedjék. A DAGUERRE-féle lemezeknek és a fölötté érzéketlen fehérje lemezeknek vannak a legfinomabb szemecskéik, a melyeket csak meglehetősen erős nagyításoknál lehet észrevenni. Ezután következik a nedves kollódium, melynek szemecskéi még nagyon finomak és végül a brómezüst-lemez, melynek szemecskéi már négy- vagy ötszörös nagyításnál igen jól felismerhetők. Ezek a nagy szemecskék 10-, vagy 12-szeresnél nagyobb nagyítást teljesen lehetetlenné tesznek.

Lehet ugyan olyan brómezüstlemezeket is előállítani, melyeknek szemecskéi a lehető legfinomabbak, de ezek azután nagyon érzéketlenek is. Azok az eljárások, melyek a lemezeket érzékenynyé teszik, egyszersmind a szemecskéket is megnagyobbítják. Mindjárt látni fogjuk, hogy e két körülmény valószínűleg oki összefüggésben áll egymással.

Már sokszor állították, hogy az előidézés módja hatással



van az ezüstszemecskék nagyságára. De ez nem helyes; ezek egymástól függetlenek. A brómezüst kicsiny részecskék alakjában van eloszolva a zselatinban és az előidézés után e részecskék helyét a megfelelő ezüstszemecskék foglalják el. A zselatinban eredetileg meglevő brómezüstszemecskék számával tehát meg van adva az ezüstszemecskék száma is. Ez tehát független az előidézéstől. Az pedig ki van zárva, hogy *előidézés közben* az ezüstszemecskék összeragadjanak, mert a zselatin nagyon szívós. Ellenben a negatívoknak utólagos erősítése higanykloriddal vagy ammoniával maga után vonja a szemecskék nagyobbodását, mert minden ezüstrészecske higanyoxiddá változik, mely nagyobb tért foglal el, mint az ezüst. A higanykloriddal való erősítés módszere egyáltalán azon is alapszik, hogy az egyes szemecskék térfogata megnagyobbodik s ezáltal sűrűbben egymás fölé kerülnek.

Abból, hogy a nagyfokú fényérzékenység a képek nagyobb durvaságával van elválhatatlanul összekötve, az következik, hogy a csillagászati fotografi különböző céljaira különböző fajta lemezeket is kell alkalmaznunk. Ha gyöngfényű tárgyakat akarunk lefotografálni, hosszabb ideig tartó fáradságos kinntartásokkal, akkor tekintet nélkül az ezüstszemecskék nagyságára, csak a legérzékenyebb lemezeket használhatjuk. Ellenben nagyon célszerűtlen lenne, ha a Nap lefotografálásához is ugyanezeket a lemezeket használnók, a mely esetben már amúgy is nagy nehézségeket okoz a kinntartás idejét elég rövidre szabni (mintegy  $\frac{1}{3000}$ -ed mp.).

Itt lehetőleg érzéketlen lemezeket kell alkalmazni, melyeknek finom szemecskéi a legtisztább és a legélesebb képeket szolgáltatják.

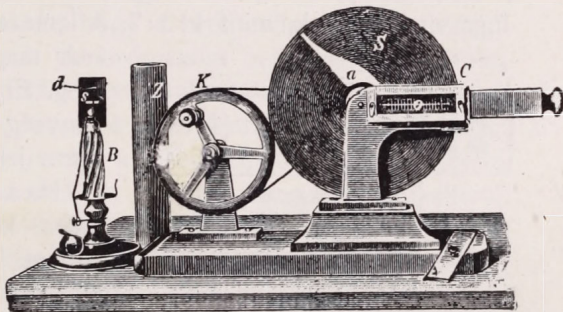
Minthogy a különböző lemezfajták és gyártmányok érzékenysége is különböző, azért szükséges fotometriai módszerek segítségével számszerűen meghatározni érzékenységbeli különbségeiket, vagy a mi még jobb, az abszolút érzékenységet. Az erre a célra szolgáló műszereket szenzitométereknek nevezzük, a melyek a legkülönbözőbb elvek szerint vannak szerkesztve. Újabban a gyakorlatban meglehetősen általánosan a SCHEINER-féle univerzális szenzitométert használják. E műszernél a forgó korongok elvét használták fel. Rövid leírását a következőkben adjuk:

A forgó korongok elve szerint (l. 246. lap) a fényerősség vagy pontosabban szólva a kinntartás idejét abban az arányban

gyöngítik, a mely arányban van a szektornylás az egész körhöz. Ha a szektornak nyílása fokokban kifejezve egyenlő  $\alpha$ -val s ha  $I_o$  a korongra eső fény intenzitása, akkor az átbocsátott fény

$$I = I_o \frac{\alpha}{360}.$$

Ha a korongon levő nyílásnak valami más alakot adunk, akkor a fény gyöngítése nem lesz egyenlő a korong valamennyi helyén, hanem a középponttól való távolsággal változik. A szenzitométernél a kivágás alakját oly módon szabták meg, hogy a kör sugarának minden pontjában valamely adott hosszúságnak mindig ugyanaz az intenzitásviszony felel meg, még pedig 20 osztás-részt akként választot-  
tak, hogy a 20-dik csak  $\frac{1}{100}$ -rész annyi fényt kap, mint az első. A 108. rajzon láthatjuk az  $S$  korongon az  $a$  kivágásnakily módon keletkezett alakját. Ez a korong a  $K$  kerék- és zsinórátétel segítségével gyors forgásba hozható. A korong mögött

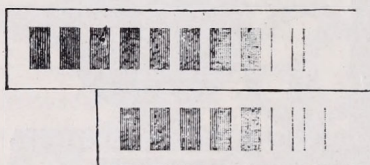


108. rajz.

a  $C$  szekrényke van elhelyezve, melynek berendezése a következő: Az elülső oldalon közvetlenül a szekrénykének tolható födele mögött fémlemez van elhelyezve, melybe húsz négyszögletes nyílás van bevágva egymástól egyenlő távolságban (a rajzon  $o$ ), a melyek kilyuggatott számokkal vannak számozva. Összhosszúságuk természetesen a kivágás hosszúságával egyenlő. A megvizsgálandó fotografuslemez az érzékeny réteggel erre a fémlemre helyezzük s a forgó korongon át megvilágítjuk. Előidőzés után a négyszögek szabályosan fokozott árnyalatokban jelentkeznek, a mint azt a 109. rajz mutatja. Láthatjuk, hogy milyen számú négyszögnél volt éppen még valamelyes fotografiai hatás észlelhető. Természetes, hogy a megvilágításra szolgáló fényforrásnak állandónak és valamennyi műszernél azonosnak kell lennie. Az univerzális szenzitométernél a benzínlámpa szolgál fényforrással, a melyet már a 233. lapon a normállámpák között felsoroltunk és leírtunk. A szenzitométernél



ezt a lámpát a lemeztől pontosan egy méternyi távolságban állítjuk fel. A megvilágítás ideje egy percze van szabva. Minthogy az 1:100 intenzitáskülönbség 20 négyszögre van elosztva, azért két szomszédos négyszög között az intenzitások viszonya 1:27. Szolgáljanak példaképpen a következő adatok. Három lemeznél, melyek három különböző gyárból származtak, a szenzitométerrel való vizsgálat a fotografiai fényhatás első nyomait a következő számú négyszögekben jelölte ki: az első lemeznél a 8. és 9. számú, a második lemeznél a 12. és 13. számú, a harmadik lemeznél a 16. számú négyszöget. Ha az 1. számú négyszög intenzitását egynek vesszük, akkor az előbb felsorolt négyszögeknek az 5·5, 16·4 és 37·9 intenzitásértékek felelnek meg. A relatív intenzitások ennél fogva úgy viszonylanak, mint 1:3:7. A lemezek érzékenységét gyakran



109. rajz.

már maguk a gyárak határozzák meg. Ebben az esetben az érzékenység számértékét a csomagoláson jelzik.

Ha a különböző gyártmányoknál a különféle közepes árnyalatokat hasonlítjuk össze egymással, könnyen meghatározhatjuk a lemezek »keménységbeli«

különbségeit is. Pontosán kifejezve ennél a szenzitométernél nem a fény intenzitása gyöngül, hanem a kinntartás ideje kevesbedett, a mi nem egészen azonos két dolog, a mint később látni fogjuk.

A fotografiai kép keletkezésének mikéntje természetesen általános érdekességű kérdés, de különös fontossága van a fotografiai fotométriában. A dologgal azért behatóbban kell foglalkoznunk, bár az itt végbemenő folyamatokról teljesen tiszta felfogás még nem alakult ki.

Az előbb mondottakkal nem áll ellentétben, ha azt állítjuk, hogy az érzékeny száraz lemezek is igen finom szemecskék alakjában tartalmazzák a brómezüstöt. A szemecskék közepes nagysága körülbelül a baktériumok nagyságával egyenlő. Lupéval vagy mérőmikroszkóppal tehát vagy egyáltalán nem, vagy csak alig észrevehetők. A lemezek durva szerkezete, mely már négy- vagy ötszörös nagyítással felismerhető s mely annál durvább, mennél érzéke-

nyebb a lemez, onnét származik, hogy a kicsiny szemecskék nagyobb csoportokká egyesülnek, melyek bizonyos körülmények között már pusztá szemmel felismerhetők. Úgy látszik, mintha éppen a szemecskék nagyobbmértékű összecsomósodása okozná a lemezek nagyobb érzékenységét. Talán úgy lehet képzelni a dolgot, hogy ha az összecsomósodott szemecskék közül csak egyik is a fényhatás által változást szenved, akkor az előidéző folyadékban a redukálásra való készség az összes többi érintkező szemecskékre is áterjed, míg egyébként csak a magában álló szemecskére terjedt volna ki.

Azt, hogy tulajdonképpen miben áll a fény hatása a brómezüstre, ez idő szerint nem tudjuk, bár erre nézve többféle föltevést fejtettek ki. Így pl. némelyek fölteszik, hogy a brómezüst valóban valami kémiai változást szenved. A brómezüst rendesen nem bontható meg a szokásos redukáló szerekkel, aminők pl. az oxálsavas vas, a pirogalluszsav stb., ha azok nem hatnak túlságos sokáig. A föltevés szerint a fény hatása a brómezüstöt más vegyületté, ezüstszubbromiddá változtatná át, a mely könnyen redukálható. Mások ismét azt a föltevést kockáztatták meg, hogy a brómezüst a fény hatása következtében más módosulatba megy át, anélkül hogy kémiaiilag megváltoznék. Hiszen efajta példát sokat ismerünk, pl. jellemző a vörös jódhiganynak átváltozása sárga jódhigannyá hőhatás következtében. A sárga módosulat pedig nyomással ismét visszaváltoztatható a vörös módosulatba.

Másik föltevés a következő: Nagyon erős megvilágításnál az egyébként szükséges előidézés nélkül is közvetlenül történik az ezüst kiválása. Nagyon valószínű az a föltevés, hogy az előidézés módszere és az ezüstkiválás közvetlen módszere között csak fokozati, de nem lényeges a különbség. Más szóval az illető szemecskékben az ezüst kiválása már gyöngébb megvilágításnál is létre jött csakhogy kisebb mértékben. Az előidéző folyadék ezt a folyamatot csak folytatja egészen a szemecske teljes szétbontásáig. E szerint ez olyféle folyamat lenne, mint a kristályosodás, mely alkalmas körülmények között nagyon gyorsan fejeződik be, ha az első lökést megadjuk.

De bármi legyen is a tulajdonképpeni folyamat, annyi mindenestre bizonyos, hogy a zselatinrétegben levő brómezüst-részecskék érzékenysége nem egyenlő, hanem nagyon különböző. Ha ez



nem lenne így, akkor a legcsekélyebb fényhatásra valamennyi szemecskének redukálhatóvá kellene változnia; azonnal be kellene következnie a teljes feketedésnek, a mi azonban valóban nem következik be. Ahhoz, hogy ez a teljes feketedés bekövetkezzék, a fénynek mintegy százszor akkora munkája szükséges, mint a csapadék első nyomának előidézéséhez. Ez a tulajdonság, a mely egyébiránt a legtöbb fényérzékeny anyagban megvan, a legnagyobb fontosságú, mert nélküle a fotográfia nem tudna folytonosan összefüggő intenzitás-átmeneteket visszaadni. Csak pontokkal vagy vonalakkal készült rajzokat lehetne vele visszaadni. Mások különben azt is fölteszik, hogy a szemecskék ugyan mind egyformán érzékenyek, de hogy redukálhatóságuk nem egyenlő. Az eredményre nézve teljesen közömbös, hogy melyik föltevéshez ragaszkodunk. Értelmük ugyanaz, mert a szóbanforgó esetben érzékenység és redukálhatóság azonos fogalmak.

A lemezen végbemenő fokozatos folyamat — kezdve a nulla megvilágítástól egészen a legerősebb fényhatásokig — a következő:

Minden friss, a legnagyobb elővigyázattal gyártott lemezen a megvilágítás minden nyoma nélkül is tetemes számú ezüst-szemecskét látunk az előidézés után, bár nem oly mértékben, hogy szabad szemmel láthatnók őket, vagy hogy gyenge fátylat idéznének elő. Ez a jelenség azt bizonyítja, hogy egyes szemecskék redukálhatósága már a gyártás alkalmával következett be, úgy hogy ezeket tulajdonképpen végtelenül érzékenynek kellene tekinteni. Ha most azzal kezdjük, hogy a lemezeket először csak nagyon gyöngye fény hatásának tesszük ki, akkor a szétbontott szemecskék száma ugyan folyton növekszik, de bizonyos határig aránylag csak nagyon csekély mértékben, úgy hogy fátylolkeletkezésről még nem lehet szó. A lemez most az előzetes megvilágítás szakában van; mert ezután már csak valami nagyon csekély további megvilágítás, mely a teljesen megvilágítatlan lemezen semmiféle észrevehető hatást sem idézne elő, elégséges arra, hogy a redukált szemecskék tetemes megnövekedését idézze elő. Ez az előzetes megvilágítás tehát a lemezt érzékenyebbé tette s az egész folyamat azt bizonyítja, hogy a fénynek valami csekély munkája szükséges a redukálhatóság előkészítéséhez. Közvetlenül felismerhető hatást ez az előzetes munka nem von maga után.

Ebből a mi céljainkra nézve az a további fontos tény következik, hogy van valamely nagyon csekély intenzitás, mely még igen hosszú kinntartásidő mellett sem gyakorol észrevehető hatást a lemezre.

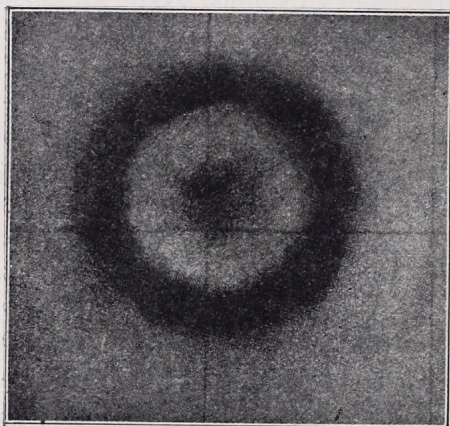
Ha az előzetes megvilágítás határát túlléptük és ha a megvilágítást fokozatosan erősítjük, az ezüstcsapadék is fokozatosan növekszik és mérések nélkül úgy látszik, mintha a csapadék mennyisége a megvilágítással arányosan növekednék mindaddig, a míg a csapadék sűrűségének maximumához nem közeledünk. A sűrűség növekedése ekkor mindinkább gyöngül és végül teljesen megszűnik, t. i. akkor, mikor az összes szemecskék redukálva vannak. Ha a megvilágítást mindinkább erősítjük, akkor a csapadék kezd bizonyos mértékben világosabbá válni, a redukálható részecskék száma mindinkább fogy, míg végül csak gyenge fátyol marad meg. Ekkor értük el az úgynevezett szolarizáció legmagasabb fokát. Ez akkor következik be, ha a megvilágítás rendes mértékét sok ezerszeresen túlhaladtuk. A megvilágítás további fokozásánál a csapadék is újból kezd erősödni bizonyos maximumig, melynél a sűrűség azonban tetemesen kisebb, mint a rendes maximumnál. Ezután ismét minimum következik és így tovább, de mindig kevesebb határozottsággal. A szolarizáció okáról és tulajdonképpen mibenlétéről úgyszólván semmit sem tudunk, bár erre vonatkozólag is számos föltevést alkottak. A szolarizáció folyamatából azonban legalább is azt az egyet tanulhatjuk meg bizonyossággal — s ez a fotografiai fotométriára igen nagyfontosságú —, hogy az ezüstcsapadék sűrűsége, vagy más szóval a fotografiai kép ereje egyáltalán nem halad arányosan a kinntartás idejével, hanem annak valamely bonyolult periodikus függvénye.

Járatlanság a fotografiai technikában számos hibának lehet forrásává, mint pl. a fátyolnak, a lemezfoltoknak stb. Nem itt a helye, hogy elkerülésükre útmutatásokat adjunk. A gyakorlati fotografiával foglalkozó számos tankönyvben erre nézve bő utasításokat találhatunk. Itt csak *egy* zavaró jelenségre akarunk rámutatni, melynek fizikai oka van s abban nyilvánul, hogy a lemeznek nagyon erősen megvilágított helyei körül gyűrűk keletkeznek. Hosszabb ideig való kinntartás mellett fényesebb csillagok fölvételénél ez mindig bekövetkezik.



A mint a 110. rajzon láthatjuk, a fényes csillag elmosódott képe körül gyűrű fonódik, mely befelé élesen van határolva, míg kifelé fokozatosan gyöngül.

A jelenség a következő módon jön létre: a 111. rajz a fotografuslemez egy darabjának keresztmetszetét mutatja be. A felső, vastagabb vonal legyen a fényérzékeny réteg keresztmetszete. Legyen  $A$  a megvilágított pont, pl. valamely fényes csillag képe. Minthogy a réteg nem átlátszó, hanem csak áttetsző, mint pl. a tejüveg, azért az  $A$  pont oly fényforrásnak tekintendő, mely suga-



110. rajz.

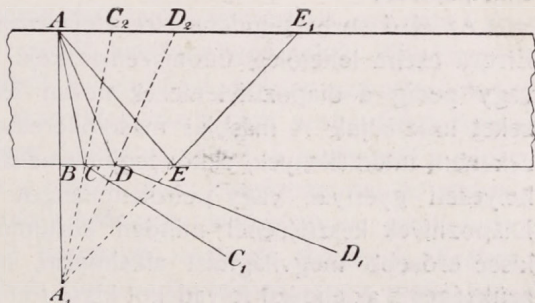
rait minden irányba lövelli, így a lemez hátlapjára is. Az  $AB$ ,  $AC$ ,  $AD$  sugarak megtörve lépnek ki a lemezből, a mint ez az  $AC$  és  $AD$  sugaraknál a rajzon is fel van tüntetve. Bizonyos rész azonban visszaverődik, mint  $CC_2$ ,  $DD_2$ , de ez a visszavert fény mennyiség sokkal kisebb, sem hogy az érzékeny rétegben valami hatást idézhessen elő. De másképpen áll a dolog, ha a sugarak oly ferdén találják a

hátlapot, hogy elérik a teljes visszaverődés szögét, a mint ezt az  $AE$  sugárnál föltettük. Ekkor az összes fény visszaverődik,  $E_1$ -nél ismét eléri az érzékeny réteget s itt feketedést idéz elő. A feketedés kezdete élesen jelentkezik, mert a teljes visszaverődés is hirtelen kezdődik valamely határozott szögnél. A még ferdébben érkező sugarak szintén teljesen verődnek vissza, de hatásuk fokozatosan gyöngül, először mert a látszólagos kiinduláspontjuktól,  $A_1$ -től való távolságuk mindinkább növekszik, de meg azután azért is, mert mindig ferdébben találják az érzékeny réteget. A gyűrű méreteit könnyen ki lehet számítani. Ha  $n$ -nel jelöljük a fénynek az üvegre vonatkoztatott törésmutatóját,  $R$ -rel pedig a teljes visszaverődés határszögét,

akkor  $\sin R = \frac{1}{n}$ . Jelöljük továbbá  $\rho$ -val az  $AE_1$  gyűrű belső fél-  
átmérőjét,  $e$ -vel pedig az üveglemez vastagságát ( $AB$ ), akkor  
a rajzból közvetlenül látható, hogy  $\rho = 2e \operatorname{tg} R$ , vagy pedig  
 $\rho = \frac{2e}{\sqrt{n^2 - 1}}$ . A fotografiai szempontból hatásos kék sugarak szá-

mára  $n = \frac{2}{3}$  vehető, a miből azután:  $2\rho = 3.58e$ , vagyis a gyűrű  
belső átmérője  $3\frac{1}{2}$ -szer akkora, mint az üveglemez vastagsága.

A fentebbi magyarázat után nem lesz nehéz módot találni arra,  
hogyan lehet ezeket a gyűrűket vagy koszorúkat elkerülni. Nem  
kell egyebet tenni, mint a lemez hátlapjára valami olyan réteget erő-  
síteni, melynek tö-  
résmutatója ugyan-  
az, mint az üvegé.  
Ekkor az összes su-  
garak ebbe a rétegbe  
hatolnak. Ennek a  
rétegnek egyszer-  
smind olyannak kell  
lennie, hogy az ösz-  
szes beléje hatoló su-  
garakat elnyeléssel  
megsemmisíti. Isme-



111. rajz.

rünk több anyagot, a melyeknek ez a tulajdonságuk megvan.  
Ajánlatos pl. a szegfű-olaj ( $n = 1.52$ ) és a fahéj-olaj ( $n = 1.61$ )  
vörösre festett vagy kormos keveréke. Az előidézés előtt ezt a  
réteget természetesen el kell távolítani.

Az égi fotografiákról jó másolatok előállítása különös nehéz-  
ségekkel jár. Ha számos másolatot akarunk készíteni, akkor  
nincs más útunk, mint a nyomdászatban szokásos valamelyik  
fotomechanikai eljárást választani. De arra, hogy melyik eljárást  
válaszszuk, nem lehet általános tanácsokat adni, minthogy  
ez nemcsak a sokszorosítandó képtől, hanem első sorban a  
sokszorosító műintézet teljesítő képességétől is függ. Míg a  
régebben használatos sokszorosító eljárások igen alkalmasak bizo-  
nyos célokra, pl. tájképek, arc képek, mikrofotografiák stb. repro-



dukciójára, addig csillagászati fölvételek sokszorosítására egy sem vált be. Így pl. a ködfoltok negatívjaiban látható rendkívül finom átmenetek keménnyé válnak és a valóságot meghamisítják. Az összes finomabb tárgyak, mint pl. a leggyöngébb csillagok, teljesen elvesznek. Csillagászati czélokra még legjobban bevált a héliogravür. Sok esetben az újlag oly nagy föllendülésnek örvendő és sokszorta olcsóbb rácseljárás is szolgáltat igen jó eredményeket. E könyv tábláinál is ehhez az eljáráshoz folyamodtunk.

Igazán hű képeket csak a közvetlen másolás szolgáltat. Így kapjuk az üveg-diapozitívet, másolatokat arisztopapíron, közönséges albuminpapíron és — ha nagyított képet kívánunk — bröm-üzüstpapíron.

Az első sorba mindenesetre a diapozitívet kell helyeznünk. Erre a czélra lehetőleg finomszemecskéjű érzéketlen lemezeket, vagy pedig a diapozitívlemezek néven forgalomban levő lemezeket használjuk. A másolás másolókeretben történik. Ha a lemezek nem túlérzékenyek, akkor legjobb néhány méternyi távolságba helyezett gyertyát, vagy petróleumlángot használni fényforrásul. Diapozitívek készítésénél minden körülmények között ajánlatos kissé erősebb megvilágítást alkalmazni, mint a minő feltétlenül szükséges s az elidéző folyadékot kissé tompítjuk. A legvilágosabb helyeknek teljesen üvegfehérségűnek kell maradniok, a legsötétebb helyek pedig nappali világosságban átlátszatlanok legyenek.

Ha a negatívon előfordulnak alig látható tárgyak, akkor azokról is meglehetősen erős képet kaphatunk, igaz hogy kissé körülményes, nehézkes és sok türelmet igénylő módon. Ez az eljárás folytonos átmásolásban áll. Tegyük föl pl., hogy terjedelmes, gyöngö ködfoltot kellene lehetőleg szemléltetővé tenni, a mely ködfolt azonban a negatívon csak mint elmosódott fátyol tűnik fel. Ekkor a következőképpen fogunk eljárni. Először is merkuri-kloriddal és ammoniával megerősítjük a negatívot. Ezután igen gyöngö fényenél egy órás vagy annál is hosszabb kinntartás-idővel gyenge diapozitívet másolunk, a melyen a negatív legsötétebb helye még üvegfehérségűnek látszik. A diapozitívlemez háttérének feketedése ekkor ugyanolyan, mint a negatív legsötétebb helye. Az első diapozitívlemez erősítésével az üvegfehérségű helyek nem változnak, de annál sötétebb lesz a háttér s így a kontraszt nagyobbodik. Az első diapozitívról hasonló módon második nega-

tívt készítenk, a melyet szintén erősítünk, erről második diapozítívt készítenk és így tovább. Az eljárás nehézsége főleg a helyes kinntartás-idő betartásában rejlik, illetve ennek a kiegyenlítésén helyesen megválasztott előidézéssel. Az eljárás folytatása csak addig ajánlatos, a míg a legkevésbé megvilágított helyek még üvegfehérségűeknek látszanak.

Tudományos szempontból ítélve meg a dolgot, azt kell mondanunk, hogy ez az eljárás megengedett, mert hiszen a kontraszthatás nagyobbítását tisztán mechanikai úton érjük el, a nélkül, hogy az alakot vagy a méreteket megváltoztatnók, vagy az emberi kéz és általa az emberi képzelet közreműködne. Ha ez közreműködik, vagyis ha a képet retusáljuk, akkor a fotografia elveszti jelentőségét. Ekkor azután már csak olyan értéke van, mint valami rajznak, melynek helyességét kétségbe vonhatjuk. Ennélfogva a tudományos fotografiából a retusálást *teljesen* száműznünk kell.

Papirosra készült másolatok közül csak azokat lehet diapozítívekkel élesség dolgában összehasonlítani, a melyeknél a papiros zselatinnal van átvonva, a milyen pl. az arisztópapiros. Az albumin-papiros, platinapapiros és a brómezüstpapiros durva szerkezetűek, minek következtében a finomabb részletek elvesznek. Ezeket a papirosfajtákat tehát csak különös esetekben, vagy pedig nagytásoknál ajánlatos használni.

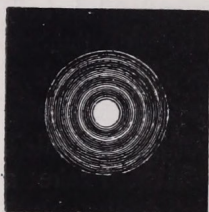
## TIZENÖTÖDIK FEJEZET.

### A fotografiai műszerek optikai részei.

Ha jó képeket akarunk kapni, akkor a fotografiai műszerek optikai részeitől ugyanazt kell megkövetelnünk, mint a közvetetlen megfigyelésre szánt műszerektől. A részletekben azért mégis vannak köztük különbségek, melyek a módszerek minémiségétől származnak. Ezek részben onnét keletkeznek, hogy a két módszernél különböző hullámhosszúságú fény működik közre, részben pedig onnét is, hogy a látómező nagyságára nézve mások a követelményeink. E különbségek megértéséhez azonban szükséges, hogy ismerjük a közvetetlen megfigyelésre szolgáló műszerek optikai sajátosságait. Ezért szükséges, hogy ezzel a tárggyal



egész általánosságban foglalkozzunk, mi talán már azért is helyén való lesz, mert népszerű munkák többnyire túlröviden végeznek a gyakorlati csillagászat ezen részével. A következő meggondolások alapelveit már az első szakaszban tárgyaltuk s egyes részleteket más helyütt, különösen a színeképelemző készülékekről szóló fejezetben említettünk. Azok a pontok, a melyekre itt ki kell terjeszkednünk, a következők: 1. A kép élessége az optikai tengelyben és azon kívül. 2. A kép fényerőssége az optikai tengelyben és azon kívül. 3. A kép természetes torzulásai az optikai tengelyen kívül. Mint hibák, illetve mint káros hatású tényezők szerepelnek: 1. A színi eltérés (chromatikus aberráció), mely csak lencsénél van meg, tükröknél azonban nem. 2. A gömbi eltérés (szférikus aberráció). 3. Az elhajlás (diffrakció). 4. A visszaverődés (reflexió). 5. Az elnyelés (abszorpció). 6. A szabálytalan torzulás (disztorzió). 7. A légkör nyugtalansága és átlátszatlansága.



112. rajz.

Meggondolásaink kiinduló pontjául vegyünk egy eszményien jó tárgylencsét, a melyet a valóságban nem lehet készíteni. A mi tárgylencsénk tehát mentes lesz a színi és a gömbi eltéréstől, valamint a szabálytalan torzulástól, nem nyel el fényt, felületei a fényt nem verik vissza s azonkívül azt is föl-

tesszük, hogy a megfigyelést a légkörön kívül végezzük.

Hogyha a fénysugarak geometriai vonalak lennének, akkor az ilyen tárgylencse végtelen kicsiny pontban, a gyújtópontban egyesítené mindazokat a sugarakat, a melyek valamely végtelen távolságban levő pontból érkeznek. Ebben a gyújtópontban a fényerősség igen nagy lenne. De a fénysugarak nem eszményi geometriai vonalak és azért még eszményi tárgylencse esetében sem lehet eltekinteni a fénysugarak sajátos természetétől, a mely különösen az interferenciában és a diffrakcióban nyilvánul s a melyeket ezért kezdettől fogva számszerűen kell tekintetbe venni.

Kísérletileg ki lehet mutatni és elméletileg könnyen be lehet bizonyítani, hogy pontnak eszményi tárgylencse szolgáltatta képe nem pont többé, hanem a fényelhajlás (diffrakció) következtében kifelé folyton gyöngülő gyűrűkkel övezett kis korong (112. rajz).

Ha a középső kis-korong fényességét 1-gyel jelöljük, akkor a diffrakciós gyűrűk fényességét a következő összeállítás mutatja:

Diffrakciós gyűrűk	Intenzitás
1. gyűrű	0.0175
2. „	0.0042
3. „	0.0017
4. „	0.0008
5. „	0.0004
6. „	0.0003

A gyűrűk intenzitása tehát igen gyorsan fogy, már az első gyűrű fényerőssége csak hatvanadrésze a középső korong fényességének. Egyelőre tehát a gyűrűktől el is tekinthetünk és csak a középső korongocskát tekintjük a pont képének. Az elmélet azt tanítja, hogy e korong átmérője függ a tárgylencse vagy tükör nyílásától, a gyújtótávolságtól és a sugarak hullámhosszától. A gyújtótávolság csak akkor jön tekintetbe, hogyha a korong átmérőjének nagyságát pl. milliméterekben akarjuk ismerni. A korong szögértéke csupán a tárgylencse nyílásától és a hullámhossztól függ. A nyílásokra vonatkozólag a következő egyszerű törvény érvényes: A diffrakciós korongok szögértékben kifejezett átmérőit fordítva viszonylanak egymáshoz, mint a megfelelő nyílások. Kétszer akkora nyílású távcső ennél fogva csak féllakkora átmérőjű korongot létesít. Mennél nagyobb a hullámhossz, annál nagyobb a korong átmérője. Ezért ugyanaz a távcső közvetlen szemlélet számára nagyobb korongot szolgáltat, mint a fotografiai felvétel számára.

Eszményi tárgylencsénél a diffrakciós korong átmérője a lehető legkisebb, mert egyéb hibák ezt az átmérőt csak nagyobbítják. A következő táblázatban össze vannak állítva a diffrakciós korongocskák átmérőit különböző tárgylencse-átmérők mellett, amint a fotografálásnál keletkeznek. Az egyik oszlopban szögértékben (ívmásodpercekben), a másik oszlopban pedig milliméterekben közöljük a diffrakciós átmérőket, azzal a föltevessel, hogy a távcső nyílásának a gyújtótávolsághoz való viszonya

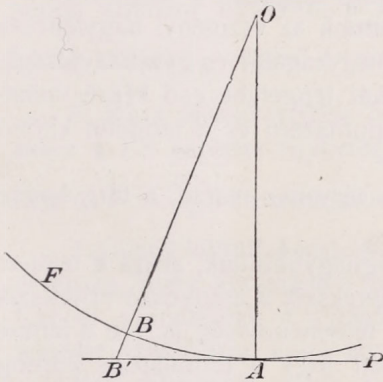


1:10, amint ezt számos fotografiai refraktornál találjuk. A korongocskák abszolút átmérői azonos gyújtótávolság-arányok mellett azonosak.

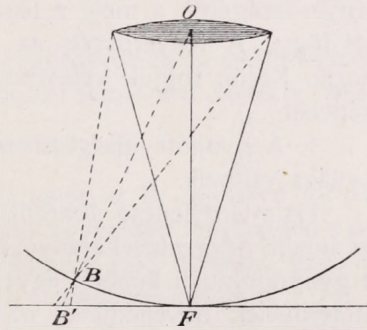
Nyílás centiméterek- ben	Képkorong átmérője	
	másodperczben	milliméterben
10	2·2	0·011
20	1·1	0·011
30	0·7	0·011
40	0·5	0·011
50	0·4	0·011
100	0·2	0·011

Ha a gyújtótávolság aránya nagyobbodik, akkor az ívmásodperczben kifejezett átmérők természetesen változatlanok maradnak, az abszolút átmérők azonban arányosan nagyobbodnak. Ha az arány annyi, mint 1:15, akkor az átmérő 0·016 mm; 1:20 aránynál a korongocska 0·022 mm (10 cm nyílás mellett). Pontokról ezek a legkisebb képek, melyeket 10 cm nyílású eszményi tárgylencsével kaphatunk, még pedig úgy az optikai tengelyen, mint rajta kívül a melléktengelyeken. Ezek a képek mind valamely gömbfelületen helyezkednének el, melynek középpontja a tárgylencse fókuszpontja, sugara pedig a valódi gyújtótávolság; más szóval a tárgylencse gyújtófelülete gömbalakú felület lenne. Abból a célból, hogy optikai távcsőnél az optikai tengelyen kívül fekvő képeket ismét élesen láthassuk, az okulárt kissé beljebb kellene tolni. A viszonyok azonban mások, ha ilyen tárgylencsével fotografiai felvételt kell végezni. Legyen a 113. rajzban  $O$  a tárgylencse fókuszpontja,  $OA$  az optikai tengely egészen az  $A$  gyújtópontig,  $OB = OA$  valamely melléktengely, a melyben a  $B$  pont szintén gyújtófelületbeli képpont. Az  $ABF$  körív a gömbalakú gyújtófelület keresztmetszetének egy része. Ha lehetne oly konkáv gömbalakú fotografuslemez használni, melynek sugara  $OA = OB$ , akkor rajta az ég egy részének tökéletesen hű képét lehetne előállítani. Az  $A$  és  $B$  képpontok közti szögtávolság pontosan egyenlő az illető csillagok szögtávolságával az égen. A gyakorlatban azonban csak síklemezeket használunk. Egy ilyennek keresztmetszetét

a 113. rajzon az  $AF$  fokális körhöz húzott  $PB'$  érintő tünteti fel. Az optikai tengelyen kívül fekvő csillag képe ennél fogva nem  $B$ -ben, hanem  $B'$ -ben fog megjelenni és a középponttól való  $B'A$  távolság nagyobb, mint  $AB$ . Könnyen belátható, hogy a lemezen a csillagok képeinek távolságai a lemez középpontjától aránylag mindig nagyobbak lesznek, mint a mekkorák a gömbfelületen lennének, még pedig mivel  $AB'$  az  $O$ -nál levő szög érintője, abban az arányban, a minőben a szög tangensének növekedése a megfelelő ívhez áll. Az égneek eszményi tárgylencse által történő leképezése ennél fogva a képnek úgynevezett rendes eltor-



113. rajz.



114. rajz.

zulását vonja maga után. Ezt nagyon könnyen lehet számításba venni, mert nagyon egyszerűen függ össze a középponttól való távolsággal.

Azonban a rendes eltorzulás még azzal a további kedvezőtlen körülménnyel jár, hogy a fotografiai távcső fényereje abban az arányban fogy, a mint növekszik a csillagoknak az optikai tengelytől való szögtávolsága. Ezt könnyen beláthatjuk a 114. rajz alapján, a melyen a tárgylencséből kiinduló két sugárkúp van feltüntetve. Ezek a sugárkúpok, a mint már tudjuk,  $F$  és  $B$ -ben a lehető legkisebb korongokká egyesülnek. Ennél fogva a gyújtófelületen a fénysugarak sűrűsége a lehető legnagyobb, még pedig mindenütt ugyanazon módon. Az eszményi tárgylencse a gyújtófelületen, pl.  $F$  és  $B$ -ben, a lehető legnagyobb fényerősséget szolgáltatja. Az optikai tengelyen kívül azonban a kép keletkezése nem a



gyujtófelületen történik, hanem valamely síkon. A fotografuslemez ennél fogva a fénykúpot nem a csúcsában metszi, hanem azon túl, a hol már ismét kiszélesedett. A fénykúpot azonkívül ferdén metszi s ezért a pontok képei kis ellipszisek lesznek, melyeknek nagy tengelyei a lemez középpontjai felé vannak irányítva. Átmérőjük annál nagyobb, mennél nagyobb a lemez középpontjától való távolságuk, mert a lemeznek távolsága a gyujtófelülettől ezzel együtt nő. A fénysugarak ennél fogva mindinkább nagybodó területeken oszlanak el, sűrűségük és ennél fogva a képek fényereje is folyton csökken, más szóval a tárgylencse az optikai tengelyen kívül fényben gyöngébb, mint magában a tengelyben.

Még egyet-mást el kell mondanunk az eszményi tárgylencsék fényerősségéről, a mely a lencse nagyságától és gyujtótávolságától függ. A fényerősség az optikai tengelybe eső képre vonatkozik. Külön fogjuk választani a pontszerű és a területet kitöltő képeket.

1. A gyujtótávolság állandóan ugyanaz marad, a tárgylencse nyílása változik.

Ha a tárgylencse átmérőjét megnagyobbítjuk, akkor a felülete az átmérő négyzetével arányosan növekszik s arányosan növekszik a gyujtópontbeli képben egyesülő fénymennyiség is. De a lencse átmérőjének növekedtével arányosan fogy a diffrakciós korong átmérője, ennél fogva a területe szintén az átmérő négyzetével együtt fogy s ennek megfelelően a fénysűrűség vagy intenzitás a lencse-átmérő négyzetével növekszik. A két hatás együttes eredménye, hogy állandó gyujtótávolság mellett pontszerű képnél az eszményi tárgylencse fényerőssége a lencsenyílás negyedik hatványával arányosan növekszik. Ha a lencse átmérőjét  $O$ -val jelöljük, pontszerű kép intenzitását vagy fényerejét  $I$ -vel és  $c$ -vel valami arányossági tényezőt, akkor  $I = c \cdot O^4$ .

Területet kitöltő képnél a diffrakciós korong átmérője gyakorlati célokra nem esik észrevehetően latba, minthogy az ilyen terület sokszorta nagyobb és minthogy azonkívül a kiterjedése a tárgylencse nagybodótása által nem szenved változást, ennél fogva csak az átmérő négyzetével arányosan növekvő területi fényesség marad. Ha ezt a területi fényességet  $i$ -vel jelöljük, akkor  $i = c \cdot O^2$ .

2. A tárgylencse nyílása változatlan marad, a gyujtótávolság változik.

Ebben az esetben a lencsére eső fénymennyiség változatlan marad, következésképpen a gyújtópontbeli képbe jutó mennyiség is ugyanaz marad. Ha most a gyújtótávolság növekszik, akkor a diffrakciós korong átmérője *szögmértékben* mérve változatlan marad, ellenben hossz mértékkel mérve ez az átmérő egyszerű arányban, a terület pedig a négyzettel növekszik. Ennélfogva a fényerősség a gyújtótávolság négyzetével fordítva arányosan fogy.

Jelöljük a gyújtótávolságot  $f$ -el, akkor  $I = c \cdot \frac{1}{f^2}$ . Minthogy valamely területet kitöltő kép hosszát mértékje ugyancsak a növekvő gyújtótávolság négyzetével arányosan fogy, azért területet kitöltő képek számára ugyanazt a képletet találjuk, mint a pontszerű képek számára; vagyis  $i = c \frac{1}{f^2}$ .

3. Ha a távcső nyílása és a gyújtótávolság egyaránt változik, akkor a két képletet egybefoglalhatjuk. Pontszerű képekre nézve lesz  $I = c \cdot \frac{o^4}{f^2}$ . Területkitöltő képeknél lesz  $i = c \frac{o^2}{f^2}$ .

Területet kitöltő képekre nézve tehát az az egyszerű törvény érvényes, hogy mindazok a műszerek egyenlően fényerősek, a melyeknél a nyílásnak a gyújtótávolsághoz való *viszonya* ugyanaz, tekintet nélkül arra, hogy abszolút nagyságuk mekkora.

Két számszerű példa még jobban fogja érthetővé tenni, a mit eszményi tárgylencsével ellátott távcsőnek fényerősségéről mondtunk.

1. Pontszerű kép számára a fényerősség egységéül vegyük egy 10 cm átmérőjű és 1·5 m gyújtótávolságú eszményi tárgylencse fényerősségét. Mily nagy a megfelelő fényerősség oly tárgylencsénél, melynek átmérője 50 cm és gyújtótávolsága 7·5 m? Itt  $o$  ötszörte akkora, mint az egységül vett lemezénél, és  $f$  szintén. A két távcső fényereje tehát úgy aránylik, mint  $\frac{5^4}{5^2} = 5^2 = 25$ . A nagy távcső tehát csillagok számára 25-ször fényerősebb, mint a kisebb távcső. A területi fényesség azonban nem növekedik, mert mind a két műszernél a nyílásnak a gyújtótávolsághoz való viszonya ugyanaz.

2. Az előbbi példából alapul vett egység mellett mily nagy oly távcsőnek a fényereje, melynek nyílása 20 cm, gyújtótávolsága



sága pedig 6 m? Az előbbieket alapján  $I = \frac{2^4}{4^2} = \frac{16}{16} = 1$ . Vagyis csillagok számára a két távcső fényereje ugyanaz. A területi fényességre nézve pedig  $i = \frac{2^2}{4^2} = \frac{4}{16} = \frac{1}{4}$ . Ennélfogva a nagyobbik távcső területi fényessége a kisebbik távcső fényerejének csak negyedrésze.

Eszményien jó tárgylencsákat a valóságban természetesen nem lehet készíteni. Másrészt azonban világos, hogy az optikusnak arra kell törekednie, hogy az eszményi viszonyokat mennél jobban megközelítse. De ez csak úgy lehetséges, ha tekintettel vagyunk arra a különös célra, a melyet valamely lencse szolgálni hivatva van és ennélfogva a főcél érdekében mellékesebb körülmények elhanyagolása mellett lehetőleg tökéletest alkotunk. Ha pl. fényesebb csillagokról lehetőleg kicsiny és éles achromatikus képeket akarunk készíteni és ha ezt négy lencséből összetett objektív segítségével jobban érhetjük el, mint két lencsével, akkor négyszeres objektívet fogunk használni, bár elnyeletés és visszaverődés miatt a fényvesztés sokkal tetemesebb.

A tárgylencsék tökéletlensége főleg az elégtelen szintelenítésben s a gömbi eltérésben rejlik, melyek együttesen oda hatnak, hogy pontszerű képnél a legkisebb korong észrevehetően nagyobb, mint a diffrakciós korong. További tökéletlenség az elnyeletés és visszaverődés folytán keletkező fényvesztés.

A távcső történetéből megtudjuk, miként sikerült lassanként a zavaró tényezők közül némelyiket lehetőleg ártalmatlanná tenni s hogy miképp győzte le a haladó technika azokat a készítésbeli nehézségeket, a melyek a távcső nagyságával együtt erősen megnövekedtek. Az első távcsőnek objektívjei kicsiny átmérőjű, egyszerű lencsék voltak, melyek erős gömbi és színi eltérésben szenvedtek. Ennek következtében az általuk kapott képek oly kevésbé voltak élesek, hogy nagyobb okulár-nagyítás nem is volt lehetséges, pedig ily nagyítás természetszerűen nagyon kívánatos volt. Ekkor felismerték, hogy igen nagy gyújtótávolság mellett — a mikor tehát a tárgylencse görbülete nagyon kicsiny — a gömbi és a színi eltérés hatása sokkal kisebb mértékben érvényesül, s ekkor azután az erős nagyításokat rendkívül nagy gyújtótávolsággal s kicsiny okulár-nagyítással érték el. Ily módon

jöttek létre a XVII. század csillagászainak idomtalan távcsövei, a melyeknek hossza 40 m, vagy még ennél is több volt, míg nyílásuk mindössze csak néhány cm-t tett ki. Hasonló szükséglet készítette a XVIII. század elején NEWTON-t a tükröteleszkópok bevezetésére, a melyeknél a gömbi eltérést ugyan nem lehetett elkerülni, ellenben a színi eltéréstől teljesen mentesek voltak. Eleinte ezeket is csak kisebb méretekben tudták készíteni. A XVIII. század közepén lényeges haladás történt az úgynevezett színtelenítő vagy achromatikus lencsék föltalálása által, a melyeknél a színi eltérést nagyrészen eltüntették s a gömbi eltérést is tetemesen csökkentették.

A növekvő haladással együtt fokozódott a nagyobb fényerősség utáni szükséglet is, még pedig azért, mert a vizsgálatok körét mindinkább ki kellett terjeszteni. De az achromatikus tárgylencsék nagyságának az üveg előállításánál fölmerülő technikai nehézségek csakhamar határt szabtak. Gömbalakú fémfelületek előállítása sokkal kevesebb nehézségekbe ütközik s HERSCHEL energiájának a XVIII. század utolsó negyedében sikerült ama hatalmas tükröteleszkópokat megszerkeszteni, melyek egész új betekintést engedtek a világegyetem mélyeibe. Mialatt ezek a tükröteleszkópok egyelőre magukhoz ragadták az uralmat, az alatt szüntelen tovább dolgoztak az achromatikus lencsék tökéletesítésén, mígnem a lassú fokozatos haladással a XIX. század közepe táján különösen FRAUNHOFER-nek s utódjainak sikerült 40 cm átmérőjű achromatikus távcsöveket előállítani, a melyek már is túlszárnyalták a nagy és esetlen teleszkópokat. A nagy achromatikus távcsőnek folytonos tökéletesedése egész máig tartott. A jelenleg létező legnagyobb távcsőnyílás 120 cm. De bizonyos jelek már is arra mutatnak, hogy a tükröteleszkópok számára új korszak nyílik legalább is a fotográfiában. Ennek oka a következő:

A technika nagy haladása mellett is már ma sem sikerül többé a tárgylencsék számára szükséges nagy üveglepényeket úgy előállítani, hogy anyaguk teljesen egyöntetű legyen. Még a legesleggondosabb lehűtés mellett sem lehet elkerülni a különböző helyeken levő hőmérsékletkülönbségeket és az üvegben ezáltal keletkező feszültségeket, a melyeknek az a következménye, hogy a törésmutató az üveg közepétől a<sub>g</sub> szélé felé folyton változik. Ebből azután erős gömbi eltérés származik, a



melynek csak úgy lehet útját állani, hogy az objektív felületeit nem gömbalakúra csiszoljuk, hanem utánjavítással bonyolultabb felületet állítunk elő, a melyet kísérletezés útján akként igyeke-zünk megalkotni, hogy a fénysugarakat a gyújtópontban a lehető legnagyobb egyesülésre kényszerítse. Ezek a már most is majdnem leküzdhetlen nehézségek beláthatatlan módon növekszenek, ha a méretek nagyságát még tovább fokozzuk.

E mellett nem szabad elfelejtenünk, hogy a tökéletlen színtelenítés éppen a legnagyobb távcsöveknél von maga után rendkívüli kényelmetlenségeket, a melyek különösen kirívó módon az által tűnnek szembe, hogy például a közvetlen észlelés céljaira színtelenített távcső nem használható egyúttal fotografiai czélokra és viszont.

A homorú tükrök teljesen achromatikusak, gyújtópontjuk úgy a szemmel való megfigyelés, mint a fotografia céljaira egy és ugyanaz. A lencsékkel szemben pedig ez igen nagy előny. További előny az is, hogy ily tükröket könnyen lehet nagy méretekben előállítani, minthogy csak *egy* felületet kell elkészíteni. Ha ezüstözött üvegből vannak készítve, akkor fényerősség dolgában is első sorba kell helyezniük a tükröket. Jól csiszolt ezüstmél a visszaverődés következtében keletkező fényvesztés mintegy 5<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, míg tárgylencsémél tisztán a visszaverődés folytán mintegy 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub>-os fényvesztés áll elő, mely össze nem ragasztott lencsémél 18<sup>0</sup>/<sub>0</sub>-ot is kitehet. Ehhez járul azután még az elnyelés következtében keletkező fényvesztés. Ezzel szemben azonban a gömbi tükrömél a gömbi eltérés meglehetősen nagy, míg az achromatikus lencsémél, amint láttuk, a gömbi eltérés csekély, sőt javítás által nagyobb lencsémél majdnem teljesen kiküszöbölhető. Régóta ismeretes, hogy a *parabolikus* tükrök mentesek a gömbi eltérés hibájától. Ennélfogva ezek jó kivitel mellett legjobban közelítik meg az eszményi tárgylencsét. Azonban nagyobb terjedelmű jó parabolikus tükröket még néhány év előtt is nem tudtak készíteni s csak a legújabb időben sikerült e téren is nagy haladást elérni gömbi tükröknek parabolikus tükörré való átciszolása által. Ily módon a ködfoltok alakjára vonatkozólag már oly eredményeket sikerült elérni, melyek meglehetősen túlszárnyalják a refraktor segítségével elért eredményeket, s így talán nem tévedünk, ha azt mondjuk, hogy a jövőben a nagy tükröteszkópok fognak inkább uralomra

jutni. Azonban jelenleg a refraktoroké az elsőség, különösen a fotografiai refraktoroké. Ezért részletesen el kell mondanunk, hogy micsoda hibáik vannak az eszményi tárgylencsével szemben.

*Achromatikus hibák.* Két lencséből összetett objektívvel két különböző hullámhosszúságú vagy színű fénysugarat lehet a gyújtópontban egyesíteni. E két sugarat tetszőlegesen lehet választani. A többi sugarakra nézve azután az egyesülés távolsága csakis a flint- és crown-üveg törésmutatójától függ. Ha tehát az üvegfajtákat véglegesen megválasztottuk, akkor az utóbb említett sugarak egyesüléstávolságain többé nem tudunk változtatni. Optikai megfigyelésekre alkalmas objektív szerkesztését illetőleg a 101. lapra utalunk, hol az összes szükséges számadatok is meg vannak. Ha ezt az objektívet fotografiai fölvételekre akarjuk használni, akkor még a következőket kell számításba vennünk. A fotografus-lemez legnagyobb érzékenysége a  $H\gamma$  vonalnál mutatkozik (hullámhossz  $0.43 \mu$ ), érzékenysége általában az  $F$ -nél kezdődik s messze belenyúlik az ibolyántúli részbe. A gyakorlatban a határt  $H\epsilon$ -nél lehet felvenni. Ennélfogva először is a lemezt 8 mm-el kellene az optikai gyújtópont mögé helyezni. Ekkor az  $F$  gyújtópontja 8 mm-nyire lenne a lemez előtt, a  $H\epsilon$  gyújtópontja pedig 14 mm-nyire a lemez mögött. A megfelelő színes aberrációkörök átmérői 0.4 és 0.9 mm lennének. Kicsiny diffrakciós korongok helyett tehát közel 1 mm átmérőjű korongokat kapunk, a melyekre a fénynek el kell osztódnia. Ennélfogva ez a tárgylencse fotografiai fölvétel céljaira teljesen használhatatlan.

Fotografiai célokra szolgáló tárgylencsének egészen más sugarakat kell egyesíteni, t. i. azokat, a melyek iránt a lemez a legérzékenyebb. Példaképpen tekintsük a potsdami obszervatórium fotografiai távcsövét, melynek gyújtótávolsága 3.4 m, nyílása pedig 33 cm. A tárgylencse a  $H\gamma$  ( $0.434 \mu$ ) és  $H\epsilon$  ( $0.397 \mu$ ) sugarakat egyesíti. A közbeeső leghatékonyabb sugarak számára a gyújtópontok eltérései elenyészően kicsinyek. Csak  $F$ -től kezdve válnak észrevehetővé, a hol 2.5 mm-t tesznek ki, a mi 0.25 mm átmérőjű korongnak felel meg. A csillagok képei ekkorára nőhetnek ennél a műszernél, de csak fényesebb csillagoknál vagy hosszabb kinttartás mellett. Az optikai sugarak számára az eltérések rendkívül nagyok lehetnek, a mint az a következő összeállításból látható:



FRAUNHOFER-féle vonalak	Gyújtópont-különbség	Színes körök átmérői
H $\gamma$	0.0	0.0
F	+ 2.5	0.25
b	+ 6.5	0.65
D	+ 13.3	1.33
C	+ 17.2	1.72

Optikai célokra ez a tárgylencse tehát teljesen használhatóan. De éppen oly kevésbé lehetne színérzékeny lemezeket használni hozzá.

A három vagy négy lencséből összetett objektíveknel a rendelkezésre álló nagyobb számú felület sokkal tökéletesebb színtelenítést tesz lehetővé. E mellett a C-től egészen az ibolyántúli részig a sugarak legnagyobb részét könnyen lehet igen közel egyesíteni, úgy hogy az optikai és a fotografiai gyújtópont egybeesik. Az ily lencsék alkalmasak úgy közvetlen megfigyelésre, mint fotografozásra és színérzékeny lemezek igen előnyösen használhatók hozzájuk.

Minthogy a nagy lencsék tudvalevőleg igen költségesek, azért igen sokáig tartott, míg oly fotografiai objektívek előállítására határozták magukat, melyek optikai célokra teljesen alkalmatlank voltak. Ebből a célból megkísérelték, hogy a meglevő optikai objektíveket fotografiai célokra tegyék alkalmassá, a nélkül, hogy optikai jellegüket elrontanák. Ezt különböző utakon lehet elérni; elméletileg és gyakorlatilag egyaránt sikerült kimutatni, hogy a fotografiai sugarak számára az optikai objektívek színi eltérése kisebbedik, ha az objektív két lencséje közötti távolságot nagyobbítjuk. Az ily módon elért javítás azonban mégis meglehetősen csekély s nem mondható valami lényegesnek. Ellenben jó eredményeket korrekciós lencsékkel értek el. Ha erre a célra kiszámított korrekciós lencsét helyezünk az objektív elé, akkor a fotografiai sugarak számára kitűnő színtelenítést érünk el. Igaz, hogy ez a lencse szintén nagyon drága, mert oly nagynak kell lennie, mint az objektívnek. A korrekciós lencse a gyújtótávolság erős megrövidülését vonja maga után, a mi azután a távcsövön külön mechanikai berendezéseket igényel. Sokkal olcsóbbak és

kényelmesebbek az oly korrekciós lencsék, a melyek két vagy több fajta üvegből vannak összetéve és melyeket közel a gyújtópont előtt helyeznek el. Ezek a lencsék tehát kicsinyek s aránylag olcsók, de az a hátrányuk, hogy látómezejük aránylag kicsi, ezért csak bizonyos, különösen spektroszkópiai célokra alkalmasak. Ilyen korrekciós lencséket jelenleg az ellenkező célra is használnak. Tudniillik fotografiai refraktorokba teszik, hogy ezeket optikai célokra lehessen használni.

2. *Visszaverődés és elnyelés következtében előálló fényvesztesség.* Közönségesen az üveget átlátszónak tekintjük. Csakugyan az összes ismert testek között egyike a legátlátszóbbaknak; de egyáltalán nem tökéletesen átlátszó. Segédeszköz nélkül ezt már jól csiszolt fehér tükörüvegnél vagy optikai üvegnél fel lehet ismerni, ha az üvegen át világos felület felé nézünk. Mikor a fény átlátszó közegen hatol keresztül, először is a visszaverődés következtében keletkezik veszteség. A visszaverődésnél észlelhető jelenségeket az első fejezetben az 28. lapon tárgyaltuk. Az ottan mondottak alapján a visszaverő felületre merőlegesen eső sugár fényvesztését az  $n$  törésmutatóból lehet kiszámítani az  $S_1 = S_0 \left( \frac{n-1}{n+1} \right)^2$  képlet

szerint. Minthogy a távcsövi tárgylencséket határoló felületek görbülete nem nagy, azért ezt az egyszerű képletet észrevehető hiba nélkül lehet használni a visszaverődés következtében keletkező fényvesztesség kiszámítására. Csak az veendő figyelembe, hogy az így kapott számok minimális értéket szolgáltatnak. A tapasztalás ugyanis arra tanított, hogy a visszaverődés rendszeren valamivel erősebb, különösen, ha az illető felület már nem egészen új. Közvetlenül a csiszolás után számítás és kísérlet megegyeznek.

Csupán egyetlen crown-üveglencséből és vele össze nem ragasztott flint-üveglencséből álló közönséges távcső-objektívnel négy felületen történik visszaverődés. A flint-üveg törésmutatója 1.64, a crown-üvegé 1.53 s a fentebbi képlet alapján a megfelelő visszaverődési együtthatók 0.058 és 0.044, azaz középértékben minden egyes felületen kerek számban 5%-os fényvesztesség mutatkozik. Ennélfogva a visszaverődés következtében az objektívben egészen 19% megy veszendőbe, vagyis az összfénynek majdnem ötödrésze. Az objektív vastagságának itt nincs szerepe, de igenis számbajön az abszorpcziónál.



Nagy objektíveknel az elnyelésokozta fényvesztés igen tetemes lehet, minthogy az elnyeletés az üveg vastagságával növekszik. Az elnyelés kiszámításáról való általános adatok meglehetősen bizonytalanok, minthogy a különböző üvegfajták elnyelési együtthatói erősen különböznek egymástól s azonkívül nagymértékben függnnek az átmenő fény hullámhosszától. Ezért külön-külön kell végezni a számítást az optikai és fotografiai objektívek számára. Így pl. egy nagy objektív számára a következő számadatokat találták:

Tíz cm vastagság mellett az elnyelési együtthatók, avagy vesztés-százalékok:

Optikai sugaraknál		Fotografiai sugaraknál	
flint	crown	flint	crown
16 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	15 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	38 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	31 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>

Tíz cm vastag objektívnel, melynek átmérője mintegy 60—70 cm, egyedül az elnyelés folytán közvetlen megfigyelésnél 16<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, fotografiai fölvételnel 35<sup>0</sup>/<sub>0</sub> fényvesztés keletkezik. A fotografiai sugarak számára tehát a viszonyok sokkal kedvezőtlenebbek, mint a közvetlen megfigyelésnél. Ha hozzászámítjuk a visszaverődés okozta vesztést, akkor ily nagy objektívnel az összes fényvesztés az optikai megfigyelés számára több mint 30<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, a fotografiai felvételeknél körülbelül 50<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, azaz a fénynek a fele veszendőbe megy. Az objektív nagyobbodtával az abszorpcziós fényvesztés is növekszik és végül olyan határhoz érünk, a melyen túl az objektív további nagyobbítása nem szolgáltat többé fénynyereséget. Ezt a határt igen hamar érnők el, hogyha nagyobb távcsöveknél is alkalmaznók azokat a négy lencséből összetett, aránylag elég vastag objektíveket, melyek kisebb méretű távcsöveknél a fotografiában oly kitűnően beválnak.

A fényvesztést illetőleg a tükrök sokkal kedvezőbb viszonyokat tüntetnek fel. Üvegre alkalmazott frissen fényezett ezüstréteg az optikai sugarakból mintegy 95<sup>0</sup>/<sub>0</sub>-ot, a fotografiai sugarakból valamivel kevesebbet ver vissza. Még hosszabb használat mellett, melynek tartama az éghajlati viszonyoktól és az ezüstréteg gondozásától függ, sem tenne ki a fényvesztés 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub>-nál többet. Ehhez még az a fontos körülmény is járul, hogy a fényvesztés a tükrő nagyságától független; a tükrő nagysága elé nincsen felső határ szabva. Kényelmetlen csak az, hogy a tükröt szükséges többé vagy kevésbbé gyakran újból beezüstözni és fényezni.

*A légkör hatásai.* A mi légkörünk optikai közegként szerepel s ennél fogva minden távcsövi megfigyelésnél számolni kell vele. E mellett szerkezete nagyon bonyolult és folyton változik, azért minden pillanatban olyannak kell venni, mint aminőnek éppen mutatkozik. A levegő tisztasága a benne levő por és kicsiny víz-cseppecskék változó mennyisége következtében zavarokat szenved, melyek gyöngítik a rajta keresztülmenő fénysugarakat. Együttal a légkört alkotó gázok, még pedig főleg a vízpára, a széndioxid és az ozon fényt nyelnek el. A 282. lapon már behatóan elmondtuk, hogy miként keletkezik ezáltal az optikai sugaraknál a fény kioltása és hogy ez mennyire befolyásolja középértékben a megfigyeléseket. Mikor a hullámhosszúságok fogynak, a fénykioltás észrevehetően növekszik, amint azt ugyan-csak az idézett helyen megmutattuk. Következőleg a fénykioltás erősebb a fotográfiában különösen hatásos kék és ibolyaszínű sugarak számára, mint az optikai sugarak számára. Nem térünk el nagyon a valóságtól, ha a légkör gyöngítő hatását a fotográfiai sugarak számára kétszer akkorának vesszük, mint az optikai sugarak számára. Ez a kedvezőtlen viszony még azáltal is rosszabbodik, hogy az átlátszóságban mutatkozó ingadozások is természetesen mintegy kétszer oly erősen hatnak. Mindebből az következik, hogy a fotografálásra alkalmas éjszakák kiválasztásánál sokkal nagyobb gonddal kell eljárunk, mint a közvetlen megfigyeléseknél, már amennyiben a levegő átlátszósága számba jöhet.

Mint a közvetlen csillagászati megfigyeléseknél, úgy az ég fotográfiájánál is a levegő nyugtalansága mindig károsan hat az eredmények jóságára, különösen pedig a lemezeknek pontos mérésekre való használhatóságára. A hatás minemősége azonban teljesen más, mint a közvetlen megfigyeléseknél és a tárgyak, valamint a kinntartási idők szerint tetemes változásoknak van alá-vetve.

Mostani meggondolásainkra nézve előnyös lesz, ha a levegő nyugtalanságának hatását a távcsövek gyújtópontbeli képeire három osztályba osztjuk, melyek a mérésekre és a fotográfiai felvételek élességére való hatásaikban élesen különböznek egymástól úgy a közvetlen megfigyeléseknél, mint a fotográfiai felvételeknél. Mindegyik osztályban természetesen a levegő nyugtalanságának minden erősségi foka előfordulhat (v. ö. a 105. lapot).



*I. osztály.* A képek teljesen élesek s hosszabb időn át (10 másodpercig és még tovább is) teljesen nyugodtak, míg azután egyszerre a látómezőben levő összes képek hirtelen helyváltozást szenvednek a nélkül, hogy ezáltal a kép élességében valami lényeges zavar keletkeznék. Ez az eltolódás néhány ívmásodpercire rúghat és több másodpercig eltarthat, míg újabb változás következik be. A levegőnek ez a fajta nyugtalansága, mely teljesen szélcsendes időben gyakran észlelhető, a távcsővel való közvetlen mérésekre a legártalmasabb. Így pl. csillagoknak a délkörben való megfigyelésénél a deklinációba való beállítás alig lehetséges, minthogy az eltolódás hosszabb tartama esetében a megfigyelő képtelen ítéletet alkotni a kép közepes helyzetéről. Nagyobb kiterjedésű égitestek, pl. a Hold szemlélését ez a fajta levegőnyugtalanság csak kevésbé zavarja, minthogy összességében a kép az idő legnagyobb részében teljesen élesnek és nyugodtnak látszik.

*II. osztály.* A csillagok távcsövi képe általában éles, de folyton változtatja helyét, még pedig oly gyorsasággal, hogy a szem nem bírja a mozgásokat követni. Ha a nyugtalanság nem túlságosan nagyfokú, ha tehát a képek nem távoznak túlmessze közepes helyzetüktől, akkor az álló csillagokon való mérésnek ez nem fog olyan nagyon ártani, mert a csillag közepes helyzetét aránylag könnyű megítélni. A Nap, Hold és bolygók felületének megfigyelésére azonban ez a fajta levegőállapot rendkívül zavaróan hat, mert a szomszédos pontok képei egymást folyton eltakarják, s így mindenféle részlet eltűnik. Ez az eltakarás csak látszólagos s abból keletkezik, hogy a szem nem tudja mozgásukat követni.

*III. osztály.* A levegőnek ez az állapota magában talán sohasem fordul elő, hanem csak a II. fajta állapottal kapcsolatban. Az állapotot az jellemzi, hogy a csillagok képe csak ritkán, vagy egyáltalán nem látszik élesen, hanem folyton felfúvódik s a mellett a legkülönösebb alakokat ölti. Némelykor észlelni lehet, hogy a képek fél ívpercnyi átmérőjű koronggá folynak széjjel, a mi természetesen a fénynek oly nagy mértékű gyöngülését vonja maga után, hogy még fényesebb csillagok is pillanatra eltűnnek.

E jelenségnek okát azokban a hatalmas görbe felületekkel határolt lencseszerű légkörbeli egyenetlenségekben kell keresnünk, melyek

következtében majd nagyobbodik, majd kisebbedik az a távolság, a melyben a távcső a sugarakat képpé egyesíti. Az ezen nyugtalan-ság mellett gyakran észlelhető képtorzulás onnét ered, hogy a légkörbeli egyenetlenség nem tekinthető gömbszerűnek a tárgylencse egész felületére nézve, úgy hogy a tárgylencse különböző részeiben a gyújtótávolság más és más változást szenved. Ezért nagy objektíveknél gyakrabban és erősebben mutatkoznak a torzulások, mint kis objektíveknél. A III. fajtájú levegőnyugtalan-ságnak csak némileg erősebb nyilvánulása mindennemű közve-tetlen megfigyelést a legérzékenyebben zavar.

Fotografiai fölvételeknél az itt röviden vázolt légköri állapotok hatása a következőképpen érvényesül:

Ha álló csillagokat hosszú kinntartási idő mellett fotografálunk (néhány perczig vagy néhány óráig), akkor a különféle faj-tájú légköri állapotok hatásai csak nagyon kevésbé különböz-nek egymástól. A míg a csillag távcsövi képének lengésideje a közepes helyzet körül kicsiny a kinntartás egész idejéhez képest, addig az összes lengések közepese egybeesik a középhelyzettel. A fotografia összegezi az összes fázisokat s eredményül elmosó-dott csillagkorongocskát szolgáltat, melynek középpontja ponto-san a kellő helyre esik, átmérője pedig annyiival nagyobb, mint nyugodt levegőnél, mint a mennyivel a csillag legszélsőbb ki-lengései megnagyobbítják. A korong erősebb elmosódottsága, az intenzitás folytonos csökkenése a korong pereme felé onnét ered, hogy a nagyobb kilengések természetszerűen ritkábban követ-keznek be, mint a kicsiny kilengések. A képeknek a III. fajta levegőállapotnál mutatkozó fölfúvódása lényegében ugyanolyan hatással van, mint a kilengések, csakhogy sokkal nagyobbfokú szétfolyást von maga után és ennélfogva ártalmasabb is.

A távcsővel való közvetlen méréshez viszonyítva a légköri nyugtalan-ságnak az állócsillagfölvételek utólagos mérésére csak igen csekély hatása van. Nagyobb, elmosódott korongocskára való beállítás természetesen kevésbé pontos, mint a kicsiny, éles korongocskára való beállítás. De a korongoknak a levegő nyug-talansága okozta kiszélesedése annyira összevegyül azzal a termé-szetes kiszélesedéssel, mely még a legnyugodtabb levegő mellett is észlelhető, hogy a mérés pontossága alig szenved károsodást. Ebben a tekintetben tehát a fotografiai mérés tetemesen előnyö-



sebb, mint a távcsővel való közvetetlen mérés. De rá kell mutatnunk arra is, hogy egymáshoz igen közel álló csillagoknál a korongok nagyobb mértékű kiszélesedése a mérés pontosságát alábbszállítja.

Sokkal nagyobb fontosságú a mérésekre gyakorolt hatásnál a levegő nyugtalanságának az a hatása, melyet fotografiai csillagfelvételeknél a műszer fotografiai fényerejére és a csillagok nagyságrendjének megállapítására gyakorol. Erre a pontra a fotografiai fotometria alkalmából fogunk behatóbban kiterjeszkedni.

Tökéletesen nyugodt levegő mellett a csillagkorongocska legkisebb átmérője számára van olyan alsó határ, mely az objektív bizonyos tulajdonságaitól függ. Ha ezt az alsó határt kísérletileg megállapítottuk a kinntartás idejének és a fény intenzitásának folytonos csökkentésével, akkor ezen tényezők valamelyikének további csökkentésekor a korong átmérője nem kisebbedik többé, hanem a feketedés csökkenése áll be egészen a korong teljes eltűnéséig. Nyugtalan levegő mellett a legkisebb korong nagyobb, mint mikor a levegő nyugodt; átmérője közel a legnagyobb kilengések értékével nagyobbodik, az összfény nagyobb területre oszlik széjjel s ennek következtében fotografiai hatása kisebbedett: adott kinntartásidő mellett a láthatóság határa lejjebb szállítottott. SCHEINER-nek a láthatóság határára vonatkozólag különböző levegőállapotok mellett végzett kísérlete szerint, a levegő rossz állapota következtében (teljesen átlátszó levegő mellett) egészen 0.75 nagyságrendnyi fényvesztéség keletkezhetik.

A levegő nyugtalansága éppen ellenkező módon hat a nagyságrend megállapítására oly csillagok fotografiai fölvetelénél, melyek annyira fényesek, hogy bizonyos kinntartásidő mellett teljesen fekete nagyobb korongocska keletkezik. Nyugtalan levegő a korongocska átmérőjét megnagyobbítja, ezért hajlandók vagyunk a lefotografált csillagot fényesebbnek tartani, mint nyugodt levegőnél készített fölvételek alapján. Ezt a pontot behatóbban fogjuk tárgyalni, ha majd a fotografiai úton történő nagyságrend megállapításról lesz szó.

Mind a háromféle levegőnyugtalanásnak rendkívül káros hatása van azokra a fölvételekre, melyek a Hold és a bolygók fölületéről hosszú kinntartásidő mellett készülnek. A fotografia t. i. valami közepes képét szolgáltatja mindazoknak az állapotok-

nak, melyek a kinntartás ideje alatt létesültek, hasonlóan, mint a közvetetlen megfigyelésnél a II. vagy III. fajta levegőállapotnál. Így például nem kaphatunk használható képet egy 10" átmérőjű holdkráterről, hogyha a kinntartás alatt ez a kráter 3"-el ide-oda lengett. Nyugtalan levegő mellett nem javíthatunk a képen azáltal, ha a gyújtópontbeli képet közvetetlenül nagyítjuk. Ez az eljárás különösen bolygók fotografálásánál nélkülözhetetlen, mert a kilengések épp annyira nagyobbíttatnak, mint maga a lefotografált tárgy. Kereken állíthatjuk, hogy az említett égitestekről használható képeket a levegőnek csak oly rendkívül nyugodt állapota mellett kaphatunk, mint a minő a mi szélességünk és tengerszínfölötti magasságaink mellett csak fölötte ritkán fordul elő.

Rövid kinntartás esetén a levegő nyugtalanságának hatása teljesen más, mint hosszú kinntartás mellett. Rövid kinntartáson olyant kell érteni, mely a képpont lengésidejéhez viszonyítva olyan kicsiny, hogy ezen idő alatt nem jön létre észrevehető eltolódás. A gyakorlatban ez a körülmény csak a Nap fotografiáinál érvényesül, mert itt a kinntartás ideje a másodpercznek csak néhány ezredrésze.

A II. fajta levegőállapotnál a kép egyes kisebb részei élesen tűnnek elő, de az összképben hullámosan vonuló torzulások jelennek meg. Ezeket legjobban a Nap peremének képein lehet észlelni, mely csipkézettnek vagy hullámvonal-alakúnak látszik. Ily kép bizonyos mérési czélokra nem használható, még ha nem is tekintjük a csipkézett Nap-peremre való beállítás nehézségeit. Ugyanis nagyon könnyen megtörténhetik, hogy a megmérendő tárgy — pl. valamely kicsiny Napfolt, a Venusnak vagy a Merkurnak a Nap előtt elvonuló korongja — egészében tetemesen eltolódott a nélkül, hogy alakja észrevehető torzulást szenvedett volna. Az ilyen kép azután oly eredményre vezet, mely a tulajdonképpeni méréshibáktól rendkívüli mértékben eltér.

Ha még a III. fajta levegőnyugtalanság járul hozzá, akkor alig lehetséges használható képet készíteni, mert nagyon valószínű, hogy éppen oly pillanatot tudunk eltalálni, mikor a levegőbeli egyenetlenségnek hatása a gyújtótávolság változására a kép egészére nézve eltűnik.

Minthogy éppen verőfényes időben nagyon ritkán nyugodt a levegő, — s különösen nem az a sugárzásnak kitett épületek



közelében —, s minthogy ilyenkor éppen a II. és III. fajta levegőnyugtalanság az uralkodó, könnyen érthető, hogy miért sikerül csak oly ritkán a Napról igazán jó és éles fotografiákat készíteni.

Egyes esetekben, pl. állócsillagok lefotografálásánál, a közepes fokú levegőnyugtalanság ugyan nem nagyon káros, de azért természetesen mégis mindig előnyös, ha fotografiai fölvétel céljára lehetőleg nyugodt levegőállapotot választunk. Erre nézve ugyanazon szabályok érvényesek, mint a közvetetlen megfigyelésekre: a csillag lehető nagy horizontfölötti magassága, az obszervatórium lehetőleg magas fekvése erdős vidéken, nagyobb iparvárosok közelségének elkerülése s több eféle. Ezek mind olyan föltételek, melyek a levegő átlátszóságára is nagyon kedvezőek.

#### TIZENHATODIK FEJEZET.

### A fotografiai távcsövek. Mérőeszközök. Regisztráló módszerek.

A sokáig változatlanul megmaradó brómezüstlemezek feltalálásának többek között azt a nagy haladást is köszönjük, hogy hosszú kinntartásidőket alkalmazhatunk, — ötven órát és ennél is többet, laboratóriumban hónapokat, sőt éveket, — s ilyen módon még a fényben leggyöngébb tárgyak is lefotografálhatók. Ebből azonban igen magas igények hárulnak pontosság dolgában azokra a csillagászati műszerekre, t. i. a fotografiai refraktorokra és reflektorokra, a melyek ilyen hosszú ideig tartó fölvételekre vannak rendelve. Ahhoz, hogy valamely csillag képe teljesen köralakú és éles legyen, szükséges, hogy a képet a kinntartás egész ideje alatt a lemeznek egy és ugyanazon helyén tudjuk tartani oly pontossággal, mint a milyent a csillagászati mérések megkövetelnek. Tegyük föl, hogy ez a pontosság pl. egy ívmásodpercet tesz ki, akkor ez a közönségesen használatos  $3\frac{1}{3}$  m gyújtótávolságú fotografiai refraktoroknál 0.017 mm-t tenne ki. De ekkora pontosságot nem érünk el semmiféle távcsőnél, még a legjobb fölszereléssel és föllállítással s a legkitűnőbb hajtó óraszerkezettel sem. De még ha ez lehetséges lenne is, a légkörben a hőmérsékletváltozás következtében keletkező refrakcióválto-

zások s különösen a csillagok horizonfeletti magasságának változásai oly hibaforrások, melyeknek hatása sokkal erősebb, mint a mit a pontosság határai megengednek. Ezért azután az emberi szemet kell segítségül venni, hogy valami szerkezet segítségével erős nagyítás mellett a lefotografálandó csillagot pontosan a lemezen ugyanazon a helyén tarthassuk. Minthogy a lemezen nincsen semmiféle jel, s minthogy rajta legfölbjebb valamely nagyon fényes csillag képe lenne látható, azért különös szerkezet szükséges, a mely lehetővé teszi, hogy a kinntartás alatt a csillagot közvetlenül láthassuk. A megfigyelő feladata azután, hogy a távcső finom mozgatása segítségével a csillagot szakadatlanul az okulárban levő fonálkeresztben tartsa s hogy így a távcső mozgásának összes tökéletlenségeit és a refrakció összes változásait állandóan eltüntesse. A kívánt nagy pontosság miatt ez igen nehéz és fárasztó munka, mely nagy gyakorlatot követel. Az észlelő figyelmének egy pillanatig sem szabad lankadnia, mert a legkisebb eltérés, ha csak néhány másodperczig tart is, fényesebb csillagok képénél mint egyoldalú kidudorodás jelentkezik, mely a fotografiai kép keletkezését zavarja és a mérés pontosságát csökkenti.

A csillagok czélbantartására idők folyamán többféle módszert alkalmaztak, míg sikerült fölfedezni a jelenleg leghasználatosabbat, mely a pontosság minden követelményét kielégíti.

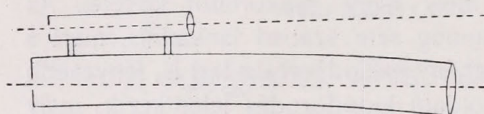
Az első és legegyszerűbb módszer az, mely a minden refraktoron alkalmazott kereső-távcsövet használja fel erre a célra. Ha a kereső és a főtávcső optikai tengelyei párhuzamosak, akkor biztosak lehetünk abban, hogy ha valamely csillagot a kereső-távcső fonálkeresztjén czélban tartunk, akkor a csillag képe a főtávcsőben is az optikai tengelyben van s hogy ennél fogva a lemez ugyanazon helyén marad meg. Csakhogy a két távcsőnek ezt a párhuzamosságát az égnek csak *egy* pontjára vonatkozólag tudjuk előállítani. Minden más pontra vonatkozólag a két optikai tengely kis szöget alkot, melynek nagysága a távcső elkerülhetlen elgörbülésétől függ. Rövid kinntartás mellett *az elgörbülés változása* oly csekély lehet, hogy a képpontnak tőle függő helyváltozása a lemezen észrevehetetlen marad. Eddig a határig a czélbantartásnak ez a módszere használható, de azon túl már nem. Éppen az a körülmény, hogy a keresőt közönsé-



gesen a távcsőokulár végére szokás erősíteni, okozza azt, hogy az elgörbülés hatása meglehetősen nagy. Ez a hatás teljes értékében érvényesül. Az elgörbülést tetemesen csökkenteni lehetne, ha a keresőt a főtávcsőhöz hasonlóan szintén a közepénél erősítőnk a deklinációtengelyre és egyidejűleg a főtávcsőre. Ekkor t. i. csak az az elgörbülésbeli különbség érvényesülne, mely a keresőnek a deklinációtengely által kettéválasztott két része között előáll. Csakhogy ezt a berendezést a velejáró kényelmetlenségek miatt soha sem használják, annál is inkább, mert nálánál sokkal jobb berendezés is ismeretes.

Az elgörbülés hatásáról könnyen adhatunk magunknak számot.

A vázlatos 115. rajz erős túlzásban mutatja be a két optikai tengely viszonylagos fekvését a távcső vízszintes helyzetében, miután előzőleg függőleges helyzetben a két tengelyt párhuzamossá



115. rajz.

tettük. A főtávcső az alátámasztási pont körül (deklinációtengely) lefelé görbül, minek következtében a kereső optikai tengelyének irányát viszonylagosan föl-

emeltük. Ha most a kereső fonalkeresztjét beállítjuk a csillagra, akkor a csillag képe nem fog a lemez közepére esni, hanem kissé lefelé. Ha a távcsővel így fotografálnánk valamely csillagot felső delelésétől kezdve egészen nyugtáig, akkor a csillag képe a lemezen vonal alakjában jelenne meg. Ha ellenben a keresőt a főtávcső közepére erősítettük volna, akkor, — föltéve, hogy a két távcső félszimmetrikusan görbül el —, a kereső és a távcső optikai tengelyei között egyáltalán nem keletkeznék irányeltérés, a görbülés nem módosítaná a képpont helyzetét s csupán a tárgylencse középpontjának helyzetében észlelhetnénk hibát. De még ha az elgörbülés nem is lenne szimmetrikus, akkor is csak a két elgörbülés különbsége érvényesülne, a mi még mindig sokkal kevesebbet tesz ki, mintha a kereső az okulár végére lenne erősítve.

A gyakorlatban sokszor olyféle elrendezést is alkalmaztak, hogy a deklinációtengelyre ellensúly helyett egy másik, többnyire nagyobb távcsövet erősítettek keresőnek. Itt is a két távcső elgörbülésének csupán a különbsége érvényesül. Ezek az elgörbülések azonban rendesen elég tetemesek lesznek, különösen ha a

két távcső különböző nagyságú és szerkezetű, a mint az többnyire lenni szokott. Itt még azonkívül hozzájárul a *deklináció-tengely elgörbülésének* hatása. Hosszabb ideig tartó fölvételekre tehát ez a berendezés szintén nem mondható alkalmasnak, bár sok célra igen kényelmes, amennyiben lehetővé teszi, hogy két különböző műszert együvé szereljünk és egyetlen kupolában helyezzünk el.

Minthogy hosszabb kinntartási idő mellett kereső segítségével lehetetlen használható fölvételeket készíteni, azért oly módszert dolgoztak ki, a melynél a csillagot kereső nélkül lehet célban tartani a főtávcső objektívjének segítségével, úgy hogy az elgörbülés itt teljesen kiküszöbölhető. E módszernél a kasszetta mellett fonálkereszttel ellátott okulárt helyeznek el, a melyen át oldalt álló csillagra lehet célózni. Ez a módszer igen jó eredménnyel elégítette ki azt a követelést, hogy valamely csillag képét pontosan a lemez ugyanazon pontján tartsa. De eddigi egyszerű alakjában nem használható általánosan, hanem csak oly tárgylencsék-nél, melyek az optikai sugarak számára vannak szintelenítve. De ilyféle objektívvel más, már előbb kifejtett okokból egyáltalán nem lehet jó fölvételeket készíteni. Ez csak kisebb, több lencséből összetett objektívvel lehetséges, melyek az optikai és fotografiai sugarak számára egyaránt szintelenítve vannak. Ezért ma az ég fotografálásánál már csupán oly objektívet használnak, melyek a kémiai sugarak számára vannak szintelenítve. De azoknak az optikai képei oly rosszak, hogy teljes lehetetlenség őket pontosan a fonálkereszten tartani. De képzelhető oly okulár szerkesztése — valami korrekciórendszerrel kapcsolatban —, melynek képei optikailag használhatók. Ebben az esetben azután a kereső nélkül való célbantartás módszere ellen nem lehetne más kifogást emelni, mint azt, hogy e módszer a látómezőt bizonyos fokig korlátozza, a mi azért van, mert az okulárnak nem szabad túlságosan oldalt elhelyezve lennie, minthogy különben az optikai kép eltorzulása a célbantartást megnehezítené.

A feladatot legjobban a HENRY testvérek oldották meg. Ők ismét visszatértek a kereső alkalmazására, de a kereső objektívjének gyújtótávolságát ugyanakkorára szabták, mint a fotografiai objektív gyújtótávolságát s a keresőt a főtávcsővel egyetlen csőbe egyesítették, a melyben a két műszer optikai elkülönítését csupán



vékony választófal hozta létre. Ezáltal ki van zárva minden különbség a két rendszer elgörbülésében s így sok órán át exponálhatunk, anélkül, hogy tartanunk kellene a fotografiai képnek a lemezen való eltolódásától az elgörbülés következtében. Ennél a berendezésnél lényeges az, hogy úgy a két objektív, mint a kasszetta kihúzható része és az okulár egy-egy közös erős zárólemeze van erősítve, nehogy még ezen a helyen is külön elgörbülés jöhhessen létre. Az utóbbi okból nem tanácsos két különálló cső alkalmazása, a melyek csak pántok vagy závarok segítségével vannak egymással összekötve, bár a műszer szépségére való törekvés könnyen erre az utóbbira csábíthatna, minthogy a szükségképpen aránylag igen széles közös cső meglehetősen idomtalan. A HENRY-féle berendezésnek a mellett, hogy az elgörbülés ellen biztosít, még az az előnye is van, hogy a kereső, jobban mondva »a célzó távcső« objektívje meglehetősen nagy és fényerős lehet, úgy hogy a célzásra gyöngébb csillagokat is használhatunk. Az első párizsi fotografiai refraktor számára HENRY-tól választott méreteket utóbb nagyszámú hasonló műszernél közelítőleg megtartották. A célzó távcső tárgylencsájének nyílása 20–25 cm, úgy hogy megvilágított látómező mellett még 9·5 nagyságrendű csillagok használhatók célzásra.

Az elgörbülés következtében a hosszabb kinntartás mellett felmerülő nehézségek legyőzése után igyekezni kellett a műszer összes többi részeit akként szerkeszteni, hogy a célbantartás nehézségei lehető legkisebb mértékre szállíttassanak. Ez akkor fog megtörténni, ha a műszer automatikusan történő forgatása lehetőleg pontos, vagyis ha az észlelő, kinek feladata e forgás folytonos helyesbítése, lehetőleg kevéssé van igénybe véve.

A célzó távcsőben rendszeren egyszerű fonálkeresztet használunk legelőnyösebben célzójelként, még pedig vagy sötét fonalakat világos mezőben, vagy világos fonalakat sötét mezőben. Az utóbbit azonban csak kényszerítő szükségből ajánlatos választani, mikor a célul szolgáló csillag gyöngye ahhoz, hogy világos látómezőben élesen észlelhető legyen. A fonalak lehetőleg finomak legyenek, nehogy a csillag a fonalak kereszteződéspontjában eltűnjék. Az okulárnagyítás legyen mennél erősebb, hogy egyrészt a legkisebb elmozdulásokat is észre lehessen venni, másrészt pedig, hogy a finom fonalakat is élesen láthassuk. A célban-

tartásra legalkalmasabb nagyítások nagyobb refraktoroknál 400 és 600 között fekszenek. Nyugtalan levegő mellett kissé kevesebbel kell beérni, míg ha a levegő állapota igen kedvező, messzebbre is mehetünk a nagyításban. Mennél fényesebb a célul szolgáló csillag, annál élesebben tartható célban, mert a csillag képe nagyobb és a fonálkereszt által való négy részre osztását jobban lehet megítélni. 20—25 cm nyílású célzó távcsöveknél mintegy 9·5 nagyságrend az az alsó határ, a melyen alul világos mező mellett nem lehet többé kellő élességgel célózni. Azonban csak ritkán fogunk célul szolgáló eléggé fényes csillagot találni egészen közel ahhoz a ponthoz, a melynek a lemez közepére kell kerülnie. Ezért elkerülhetetlenül szükséges, hogy a fonálkereszt ne legyen az okulárcsőben lerögzítve, hanem mikrométerszerű szerkezetre legyen szerelve, mely lehetővé teszi, hogy a fonálkeresztet legalább 30' átmérőjű látómező minden pontjára lehessen beállítani, úgy hogy a kívánt lemez középpont megtartása mellett távolabb eső csillagokat is lehessen célzásra használni.

Mielőtt ezt a berendezést fotografiai refraktoroknál alkalmazták, a gyöngébb csillagok célbantartására más segédeszközöket alkalmaztak. Sötét látómezőben megfigyelték a csillag eltűnését a fonálkereszt nagyon vastag fonalai mögött; természetes, hogy ezen berendezés mellett pontos célbantartás lehetetlen. Ennél jobb a LOHSE-féle módszer, a melynél a fonálkereszt helyett BALMAIN-féle világító festékekkel készült gyűrűt használnak. A megvilágítás erőssége szerint a gyűrű többé vagy kevésbé enyhe fényt áraszt, úgy hogy még meglehetősen gyöngé csillag is egészen jól beállítható a gyűrű középpontjába. Nem nagyon ajánlatos az a módszer, melyet SCHAEFERLE és BARNARD gondoltak ki s melyet fényesebb csillagoknál gyakran alkalmaznak s a melynél nem szükséges a látómező mesterséges megvilágítása. Ennél az eljárásnál a fonálkeresztet annyira távolítjuk a távcső gyújtópontjától, hogy a csillag képe kis koronggá szélesedik, a melyen azután a fonálkereszt láthatóvá válik. Az itt nyilvánvaló parallaxishatás következtében természetesen pontos célbantartás lehetetlen.

Maga a célbantartás épp olyan művészet, mint minden más méréssel járó csillagászati megfigyelés, a melyet csak gyakorlattal lehet megszerezni. A levegő mindenféle állapotánál azonnal fel kell



ismernünk, hogy a csillagnak a fonálkeresztől való hirtelen történő eltávolodását a levegő nyugtalansága idézi-e elő, vagy pedig a műszernek valamely hibája? Az első esetben nincs mit kiigazítanunk, mert a levegő nyugtalanságától származó ingadozások a kinntartás folyamán maguktól egyenlítődnek ki. A második esetben azonban lehetőleg azonnal kell kiigazítani. Ez a megkülönböztetés nem mindig könnyű, mert van olyan levegőállapot, a melynél az ingadozások periodusa több másodperc.

A finom mozgással való igazítást teljesen mechanikusan kell végezni, vagyis már annyira gyakorlottnak kell lenni, hogy minden külön meggondolás nélkül végezzük el a célravezető kézmozgást, mihelyt valamely irányban eltérés kezd jelentkezni a helyes állásból. Ha a levegő nagyon erősen nyugtalan, akkor a célbantartás végül igen nehézé válik. Ilyen esetben azonban már más okokból is le kell mondanunk a fotografiai fölvetelről.

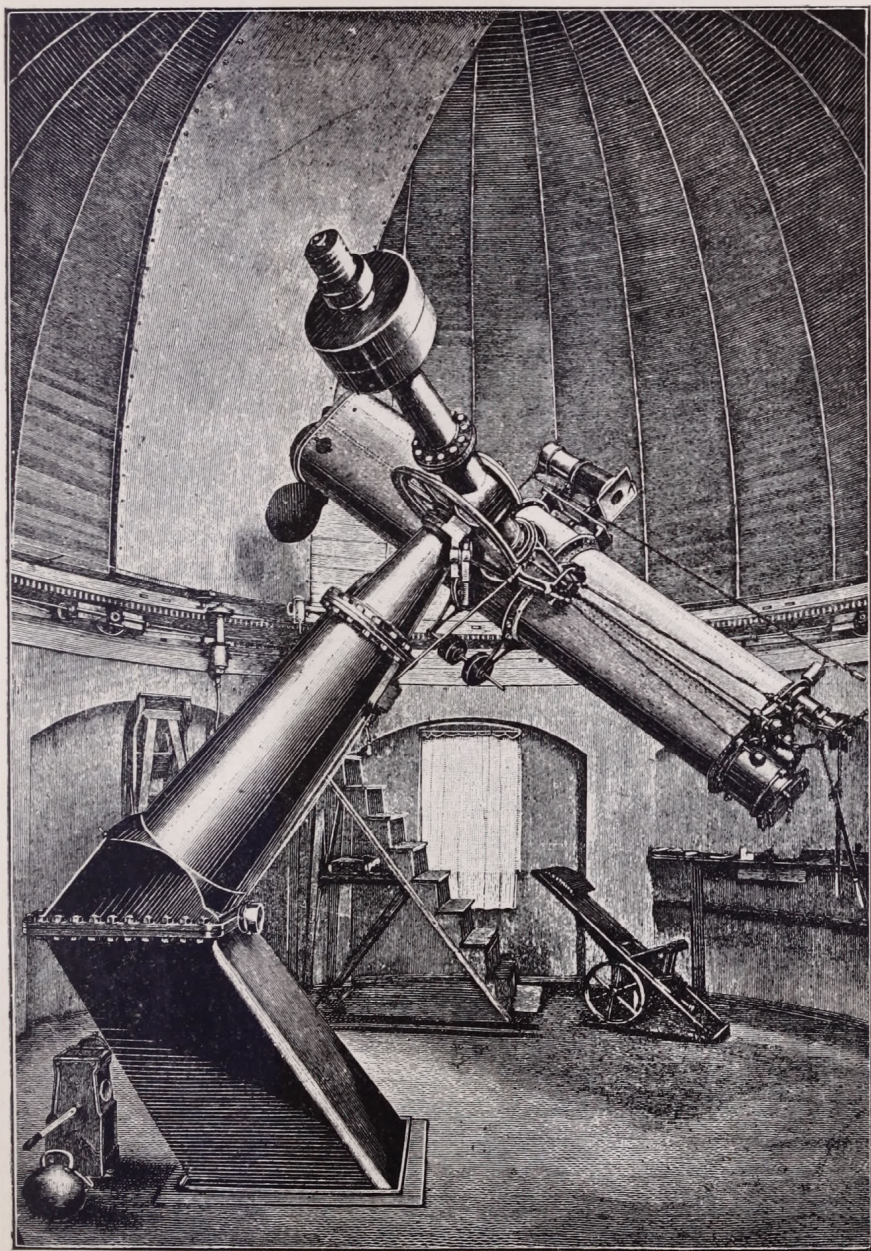
A szerkezetre vonatkozó általános elvek, a melyeket ebben a fejezetben eddig elsoroltunk kapcsolatban az optikai részek választására vonatkozó megfelelő szabályokkal, elégségesek lesznek arra, hogy adott célra lehetőleg alkalmas fotografiai műszert készíthessünk. Természetes, hogy e mellett számos pontot egyenként külön mérlegelés tárgyává kell tenni, a melyeket lehetetlen már itt előre számításba venni, mert ehhez külön tanulmány lenne szükséges. Az is aligha fog sikerülni, hogy ilyféle nagyobb műszert azonnal használatra tökéletesen készen állítsunk elő. Csak használat közben tűnnek ki a hibák és a tökéletlenségek, a melyeket azután utóbb kell kijavítanunk.

Ide csatoljuk néhány fotografiai műszer egészen rövid leírását. A részletes leírásnál mindenesetre sokkal jobban fogják elősegíteni a megértést a közölt rajzok.

1. *A potsdami obszervatórium fotografiai refraktora* (116. rajz). Ez a műszer típusa azoknak a HENRY elvei szerint készült kettős refraktoroknak, a melyeket az ég fotografiai térképének készítésére használunk, bár szerelése egészen speciális, a milyent eddig sehol sem alkalmaztak.

A fotografiai és az optikai műszer elliptikus keresztmetszetű csőben van egyesítve. Az előbbi (a rajzon az alsó) 33 cm-es nyílású objektívvel, az utóbbi 23 cm-es objektívvel van ellátva. Mindkettőnek gyújtótávolsága 3·4 m s úgy van választva, hogy



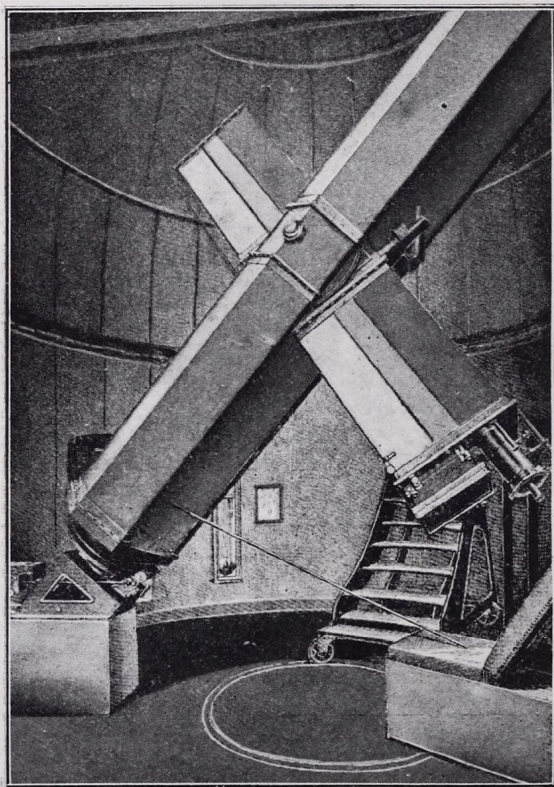


116. rajz.



a gyújtósíkban egy ívpercznek lehetőleg pontosan 1 mm-nyi lineáris hosszúság feleljen meg. A  $16 \times 16$  cm nagyságú fotografiai lemezek felvételére szolgáló vaskasszetta bajonettzár segítségével könnyen levehető és visszahelyezhető, a nélkül, hogy a helyes

beállítás ez által megváltoznék.



117. rajz.

Miként már említettük, a távcső szerelése egészen különös. Az úgynevezett német és angol szerelésből van összetéve s magában egyesíti mindkettőnek előnyeit hátrányaik nélkül.

A rövid német óratengely megmaradt, e helyett az oszlop könnyökb hajlik, úgy hogy felső része az óratengely folytatásába esik. Ezzel elérték azt, hogy a távcső bármilyen tetszőleges helyzetbe hozható, a nélkül, hogy az oszlopot

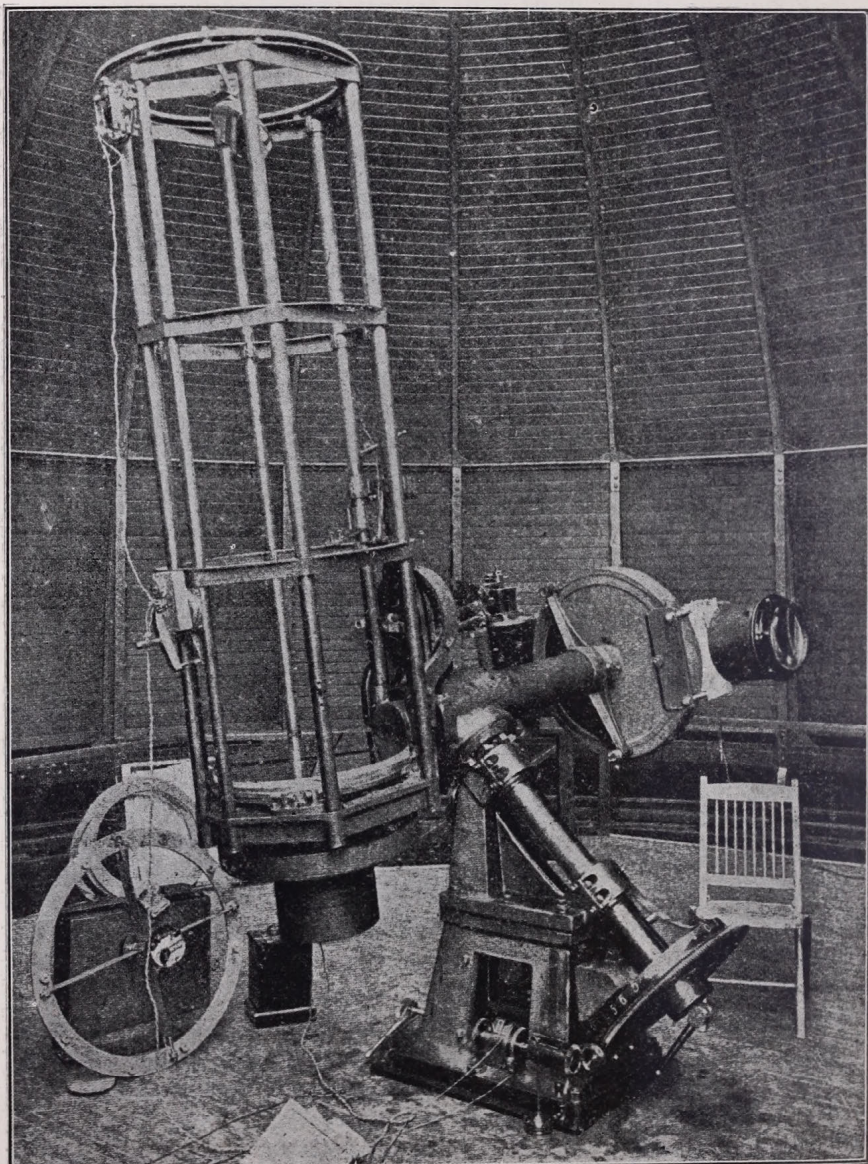
érintenék, mint pl. az angol felállításnál. De míg ennél az égisark tájkát nem lehet észlelni, addig amannál az égnek ez a tájéka is teljesen szabadon hozzáférhető.

2. A párizsi obszervatórium fotografiai refraktora a HENRY-testvérek eredeti műszere (117. rajz). A kettős távcső alakja négy-szögletes szekrény, mely a középén kettéosztott óriási óratengelybe van erősítve (angol szerelés).

3. *A Roberts-féle tükörteleszkóp.* A 46 cm átmérőjű tükör gyújtótávolságának a nyíláshoz való viszonya csekély, t. i. annyi, mint 5:1. A deklinációtengely másik végére ellensúlyképpen 16 cm nyílású optikai refraktor van elhelyezve. Rövid kinntartásidők mellett ez a refraktor célzó távcsőnek használható. Hosszú kinntartásnál azonban nem használható a két műszer különböző elgörbülése miatt s ezért ROBERTS igen elmés berendezést alkalmazott magán a tükörteleszkópon. A tükör közepén át van fúrva s a nyílásban kis távcső foglal helyet, mely a nagy tükör gyújtópontjára van beállítva. A fotografus-lemez a gyújtósíkban van elhelyezve s közvetlenül előtte van a kasszettát záró tolófedél, melynek hátlapjára sík ezüst tükör van erősítve. A tolófedeleet bezárjuk s a kis távcső fonálkeresztjét beigazítjuk a célul szolgáló csillagnak a segédtükréből visszavert képére s egyidejűleg a célzó távcső fonálkeresztjét is magára a csillagra irányítjuk. Most a kasszetta tolófedelét kinyitjuk s a célzó távcsővel célzunk. De időről-időre becsukjuk a tolófedeleet s a segéd-távcsővel ellenőrizzük a pontos összeesést. Ha ez többé már nem pontos, akkor az egész műszer finom mozgatásával ismét helyreállítjuk, a célzó távcső fonálkeresztjét újból beigazítjuk s a kinntartást folytatjuk.

7. *A Yerkes-obszervatórium reflektora* (118. rajz). A tükör átmérője  $23\frac{1}{2}$  angol hüvelyk (közel 60 cm), gyújtótávolsága 93 hüvelyk (236 cm), viszonyuk tehát 1:4. A tükör parabolikusan van csiszolva. Az összes eddigi műszerek között fényben ez a legerősebb s egyúttal képei is tökéletesek. A képek élessége vetekszik a legjobb refraktorok képeivel, sőt ezeknél még jobb is. A második részben közölt ködfoltfotográfiák közül több ezzel a műszerrel készült. A műszer rendkívül stabilisan van építve s csak a reflektor tulajdonképpen csöve lehetőleg könnyűre van szabva, a mennyiben acélból és alumíniumból készült váz. A célzásnál nem vesszük igénybe a finom mozgást, hanem valami szánszerkezet segítségével megfelelően eltoljuk a kasszettát, mely az okulárt és a fonálkeresztet tartalmazza.





118. rajz.

Azok a követelmények, melyeket mechanikai tekintetben a Nap fotografálására szolgáló műszerekkel, a héliográfokkal szemben támasztunk, nagyon csekélyek azokhoz a követelményekhez képest, a melyek hosszú fölvételekre rendelt fotografiai refraktorokkal és reflektorokkal szemben támasztanak. Magától értetődik, hogy az optikai részeknek, éppen úgy, mint a refraktoroknál, lehetőleg jóknak kell lenniök. De az igények itt is sokkal könnyebben teljesíthetők, mert nagy fényerősség nemcsak nem szükséges, hanem egyenesen hátrányos. Az objektívek vagy tükrök gyújtótávolsága aránylag igen nagy lehet, a mi előállításukat nagyon megkönnyíti. Ha tehát egyéb akadályok nem merülnek föl, akkor igen nagy gyújtótávolságú távcsöveket fogunk alkalmazni, hogy minél nagyobb, részletekben gazdag napképeket kapjunk. De ha ez pl. helyszűke miatt nem lehetséges, akkor rövid gyújtótávolság mellett a gyújtópontbeli képet egy másik lencserendszerrel fogjuk nagyítani. A távcső felállításával szemben támasztott követelményeink azért lehetnek oly minimálisak, mert a felette rövid kinn-tartási idő mellett — a másodpercznek csak ezredrészei forognak szóban — még a napi mozgás hatása is sokkal csekélyebb, semhogy észrevehetővé válhatnék. Hajtó óraszerkezetre tehát nincs is szükségünk. Tökéletesen elég, ha a távcsövet a Napra lehet irányítani és ha valami célzó szerkezet segítségével az észlelő meggyőződést szerezhethet arról, hogy a Nap képe valóban rá is esik a lencsére.

De nagyobb kényelem kedvéért a héliográfot is többnyire gondosan állítják fel s jó hajtó óraszerkezettel látják el. T. i. minden valamire való fotografiai refraktor héliográfának is használható, föltéve, hogy az okulárvégre valami nagyító szerkezetet szerelünk kamarával és kasszettával. Ha nagy gyújtótávolságú héliográfot akarunk használni, akkor az aequatorialis fölállítás nagyon kényelmetlen s mindenekelőtt túlköltséges. Ilyenkor a szilárd helyzetű távcső ajánlatos, melybe a Nap képét heliosztát-tükör segítségével vetítjük. A héliográfának kétféle elhelyezését szokás itt megkülönböztetni:

1. A távcső a Föld tengelye irányában van fölállítva, az objektív lefelé néz a heliosztát-tükörre. E fölállításnak az a rendkívüli előnye, hogy a heliosztát berendezését lehetőleg egyszerűvé tehetjük, amint ezt csupán *egy* tükör alkalmazása mellett semmiféle más hely-



zetben sem lehet elérni. T. i. elég, ha a tükröt egyszerűen parallaktikusan állítjuk föl. 2. A távcsövet észak-déli irányban vízszintesen heleyezzük el. Ebben az esetben a szokásos bonyolult szerkezetű héliosztátot kell használnunk, a mely a Nap mozgását követve, a fényt mindig ugyanabba az irányba veti vissza. Ezt a bonyolult berendezést elkerülhetjük, ha úgy, mint a ferde fölállításnál, egyszerűen parallaktikusan szerelt tükröt használunk, mely a Nap fényét folyton az ég északi sarka felé veri vissza s a képet azután egy másik változatlan helyzetű tükörrel vetítjük a vízszintes helyzetű távcsőbe.

Szilárd helyzetű héliográfhoz csak oly héliosztát-tükröt használhatunk, melynek felső lapja tükröző, mert ha a hátsó lap a tükröző, akkor az elülső lapon keletkező visszaverődés zavarólag hat. A tükröző felületnek oly tökéletes síknak kell lennie, amint az csak lehetséges. Mindenekelőtt nem szabad hengerszerűen elgömbülve lennie, mert akkor egyáltalán nem kapunk éles képet. Csekély gömbszerű görbülés talán kevésbbé ártalmas, mert ez alapjában csak a gyújtótávolság megváltoztatását vonja maga után.

A nagy fénybőség tulajdonképpen fölöslegessé teszi a tükröfelszín beezüstözését. Az üvegről való közvetlen visszaverődés teljesen elégséges lenne, de ekkor a tükrő hátlapján keletkező reflexet kell ártalmatlanná tennünk, a mit legjobban úgy érünk el, hogy a szintén jól csiszolt hátlapnak körülbelül  $10^{-1}$ -nyi hajlást adunk az elülső laphoz képest, úgy hogy a hátlaptól visszavert kép az elülső képen kívül esik. Nem szabad a tükrő hátlapját fénytelenre csiszolni, mert ekkor szétszórt fényt kapunk. A tükrő felszínének beezüstözése azonban más okból nagyon fontos, t. i. megakadályozza a napsugarak behatolását az üvegbe s ezáltal a tükrő felmelegedését. A tapasztalás arra tanított, hogy még ezüstözött tükrőnél is csak néhány perczig tartó megvilágítás már a tükrő torzulását idézi elő, a mi ismét a képeknek igen szembe-tűnő rosszabbodását vonja maga után. Ezek a torzulások természetesen annál erősebbek, mennél több fény hatol az üvegbe és mennél nagyobb az általa elnyelt hő. Ennélfogva a tükröt mennél vastagabbra kell készíteni, elülső lapját be kell ezüstözni s lehetőleg csak rövid ideig szabad kitenni a Nap sugárzásának.

Még erős közvetlen nagyítás és kicsiny objektív-nyílás mellett is a napfény még mindig olyannyira hatásos, hogy mechanikai

berendezések, ú. n. pillanatzárak segítségével kell a kinntartás szükséges rövidségét elérni. Magában véve közömbös, hogy hol iktatjuk közbe a sugarak útjába a pillanatzárt s épp így közömbös e zár szerkezete, melynek azonban négy követelményt kell kielégítenie: a kinntartás idejének bizonyos határok között változtathatónak kell lennie, nem szabad erős diffrakció-hatásokat előidéznie, az objektívet minden részében egyenletesen kell szabaddá tennie s végül szükséges, hogy lehetőleg kevésbé rázkódtassa meg a műszert.

Az első követelménynek két úton lehet eleget tenni: a zár hatásos nyílásának változtatásával és a sebesség változtatásával. A második követelmény nehezebben teljesíthető, mert azok a berendezések, a melyeket erre a célra választhatunk, különösen az első és utolsó követelménnyel összeütköznek. A harmadik követelményről külön kell szólnunk.

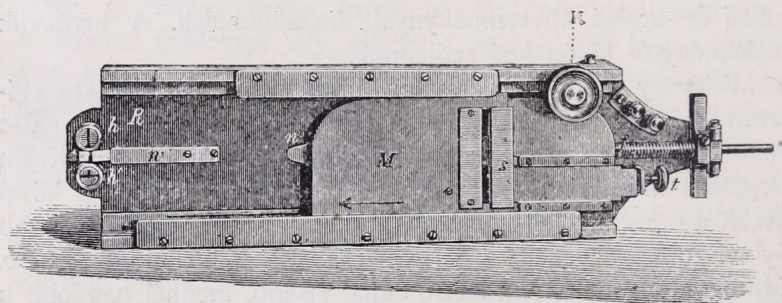
Minthogy a fényelhajlás vagy diffrakció hosszmértékben kifejezett értéke annál kisebb, mennél közelebb van a hatásos nyílás a \*fotografuslemezhez, a káros diffrakciós hatások elkerülésére a legjobb mód az lenne, hogy a pillanatzárt lehetőleg közel tesszük a fotografuslemez elé. A pillanatzár számára a legrosszabb hely viszont közvetlen a tárgylencse előtt vagy mögött lenne. Minthogy továbbá a diffrakció annál kisebb, mennél nagyobb a hatásos nyílás, ebben a tekintetben a legelőnyösebb helyzetet akként fogjuk elérni, ha a zár nyílása legalább is akkora, mint az egész sugárkéve keresztmetszete a zár helyén.

Mennél kisebb és könnyebb a pillanatzár, annál kevésbbé fogja a műszert megrázkódtatni. Ennélfogva a legjobb megoldás, ha a pillanatzárat a sugárkéve legkisebb keresztmetszetének helyére, azaz a gyújtósíkba tesszük s egyszersmind oly nagy nyílásúra készítjük, mint a mekkora a sugárkéve teljes nyílása. A helyes kinntartásidőt azután úgy érhetjük el, ha kellően megválasztjuk a zárás sebességét s ha *lehetőleg érzéketlen lemezeket használunk*. Nézetem szerint az utóbbi pont valamennyi között a legfontosabb, mert nagyon érzéketlen lemezek használatával együttjár a finomabb ezüstszemecskézettség minden előnye. Ennélfogva a nedves kollódiumeljárással szemben mintegy visszaesésnek tűnik fel a közönséges száraz lemezek alkalmazása a Nap lefotografálására, jóllehet a velük való bánás annyira kényelmes. Azonban az utóbbi években előállítottak oly száraz lemezeket, ú. n. szemecskénélküli zselatin-



lemezeket, a melyek tetemesen érzéketlenebbek, mint a nedves kollódiumlemezek s szemecskéik is sokkal finomabbak, mint ezeké. Minthogy azonkívül e lemezeken az ezüstcsapadék igen erőssé válhatik, azért a Nap lefotografálására ezeket kell a legalkalmasabb lemezeknek tartanunk. A velük való bánásmód éppen olyan kényelmes, mint a közönséges zselatinlemezeknél. Arról, hogy a mondott célra alkalmazták-e már eddig ezeket a lemezeket, a szerzőnek nincs tudomása.

Ha a pillanatvár a gyújtósíkban van, akkor nyílásának a zár mozgására merőleges irányban legalább akkorának kell lennie, mint a Nap gyújtópontbeli képének. A nyílás a zár mozgása irányá-



119. rajz.

ban bizonyos fokig kisebb lehet, t. i. addig, míg a diffrakció hatása (a nyílástól a lemezig számítva) észrevehetővé válik. Ha ezen a határon túlmegyünk, akkor a diffrakció először abban nyilvánul, hogy a Nap pereme a zár mozgásirányának megfelelő oldalakon kevésbé élesen rajzolódik le, mint az erre merőleges oldalakon. E határnál kisebbre tehát nem lehet szabnunk a nyílást, hanem a zár mozgássebességét kell fokozni, ha a kép még mindig túlfényesnek mutatkoznék. Mint a zár nyílásának legegyszerűbb alakja, olyan rés ajánlatos, melyet a Nap magasságához és a levegő állapotához mérten tágabbra vagy szűkebbre lehet szabni. Ily résnél a kinntartás ideje a területegység számára egyenlő azzal az idővel, mely alatt a rés átfut a Nap képén, osztva a napkép átmérőjének a rés szélességéhez való viszonyával. Nem tekintve a diffrakció-hatást, túlságosan szűk résnél még az a kellemetlen körülmény is nyilvánul, hogy a rés széleihez ragadt

kicsiny porszemecskék vagy effélék a rés szélességét ezen a helyen tetemesen csökkentik s ezáltal a Nap képében a rés mozgásirányával párhuzamos sávokat idéznek elő.

Ha azt akarjuk, hogy a Nap képe mindenütt egyformán legyen megvilágítva, azt csak állandó sebességgel tovasurranó paralelogrammos vagy résalakú nyílással érhetjük el. Az állandó sebességet kielégítő módon a legegyszerűbben az által érhetjük el, ha a pillanatzár lemezére ható erő abban a pillanatban szűnik meg működni, mikor a rés nyílása a Nap képét érinti. Az ekkor minden esetre azonnal beálló lassulás elenyészően csekély, ha a pillanatzár lemeze könnyedén mozog.

A 119. rajz a potsdami obszervatórium nagy héliográfiájának pillanatzáráát ábrázolja. Sínekkel ellátott fémkeretből áll, melyben a rést tartalmazó lemez kis kerekeken mozog. Ha ezt a lemezt jobb felé eltoljuk, akkor ezáltal az erős  $f$  rugó megfeszül s ebben a helyzetben önműködő gátszerkezet a lemezt rögzíti. A  $K$  gomb forgatása által történik a zárólemez útnak indítása, melyet a rugó röpít nagy sebességgel. A sugárkévéen áthaladva teljesíti a rés a kinntartást. A rugó hatása megszűnik, mielőtt a rés a sugárkévét érinti. Mikor a sugárkévéen túl van, akkor először rugók fékeznek és rugalmas gummipárnák megállítják, úgy hogy a bekövetkező lökés aránylag gyöngé. A kinntartás idejét a réstágasság változtatásával lehet elérni, mely tágasság milliméterskálán olvasható le.

### Az ég fotografiáinak tudományos értékesítése.

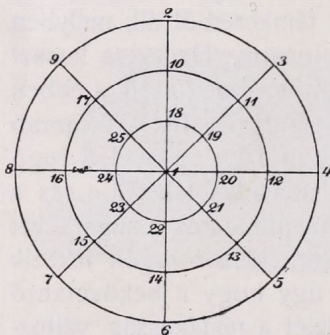
Minden csillagászati fotografiának az a célja, hogy mérésre felhasználhassuk. Habár a legtöbb országban a csillagvizsgáló intézetek mai berendezésénél még csak az egy megfigyelőtől származó fotografiai anyag feldolgozása sem lehetséges, azért mégsem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a kiméretlen fotografiának nagyobbára csak rejtett értéke van.

A tapasztalás arra tanított, hogy a fotografiai mérőeljárás pontosság dolgában bármely közvetlen mikrométerméréssel versenyezhet. Ehhez azonban szükséges lehetőség szerint az összes hibaforrásokat tekintetbe venni és a fotografiai mérések sajátos-



ságait éppen oly pontosan tanulmányozni, mint a hogy ezt a csillagász az égboltozaton való közvetetlen méréseknél tenni szokta.

A csillagászati fotográfia az éggömb egy részének síkbeli vetülete. Ahhoz, hogy ez a vetület lehetőleg egyszerű legyen, szükséges, hogy a lemez valóban sík legyen, s hogy a tárgylencse optikai tengelyére merőlegesen álljon. Ha ezt a két föltételt nem teljesítettük, akkor az ebből származó eltéréseket számításba kell venni. De minthogy ezt a két föltételt mindig nagyon könnyen lehet mechanikai úton oly pontossággal kielégíteni, mely még a legfinomabb mérészcélokat is kielégíti, úgy ezt a két hibaforrást meg nem lévőknek fogjuk tekinteni.



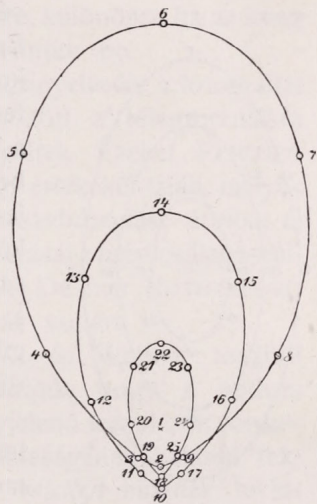
120. rajz.

Az égne a lemez síkjára való középponti vetületénél (centrális projekció) a lemez középpontjától számítandó képtorzulás áll elő. Tudniillik a lemez középpontjától való távolságok a szögtávolságok tangenseivel arányosan nőnek. Kis távolságoknál a torzulások kicsinyek és észrevehetetlenek. Azonban nagy távolságoknál, tehát nagy látómezejű fölvételeknél tetemes nagyságot érnek el. Ezt a

torzulást szabályszerű vagy rendes torzulásnak (disztorzió) nevezzük, mert ezt elkerülni nem lehet. A torzulás egy és ugyanazon műszernél állandó és számára egyszersmindenkorra kiszámítható. Rajta kívül még szabálytalan torzulás is nyilvánulhat, ha a tárgylencse nem minden irányban egyenletesen rajzol. Ha az objektív vagy a tükör jó, akkor ennek a szabálytalan torzulásnak elenyésző kicsinynek kell lenni. Az objektív bizonyos szerkezeti hibáinál a rendes torzulás oly hibával van összekötve, mely különbséget idéz elő az erős és gyöngye csillagok mérése között s akkor áll elő, ha az objektív nem tesz eleget a GAUSS-féle elmélet követelményeinek (ilyen pl. a HENRY-féle objektív). Itt különösen a negyedik GAUSS-féle követelmény játszik közre, az úgynevezett sinus-követelmény, mely szerint szükséges, hogy a közepes törési sugarak számára az objektív szélének és közepének valódi gyújtótávolsága egyenlő legyen.

Annak kimutatására, hogy milyen hatással van az oldalt fekvő képre az utóbbi követelmény nem teljesülésének, STEINHEIL kiszámította az ebből származó torzulást a königsbergi héliométer objektívje számára. Tegyük föl, hogy 25 külön sugárból álló hengeres sugárkéve éri az objektívet a 120. rajzon feltüntetett pontokban. Az 1 sugár megfelel a főtengelynek, a 2—9 sugarak az objektív szélét érik, a 10—17 sugarak a középtől  $\frac{2}{3}$  távolságra, a 18—25 sugarak  $\frac{1}{3}$  távolságban érik a tárgylemezt. A königsbergi héliométer objektívje 48'-nyi szögtávolságban a főtengelytől a sugarak elosztásáról a következő képet szolgáltatja a beállítás síkjában (121. rajz):

A mint látható, ez a rajz a 2, 1, 6 pontokon átmenő tengelyhez képest szimmetrikus, valamely erre merőleges tengelyre azonban nem. A főszugár (1) nem a rajz közepében fekszik, hanem sokkal mélyebben, úgy hogy a fényességeloszlás nagyon egyenlőtlen. Ez abból tűnik ki, hogy a 8, 16, 24, 1, 20, 12, 4 pontokon átmenő vonal, mely a 120. rajzban a beeső fény mennyiséget két egyenlő részre osztja, a 121. rajzban is két részre osztja a fényt a csillag képében, melyekben



121. rajz.

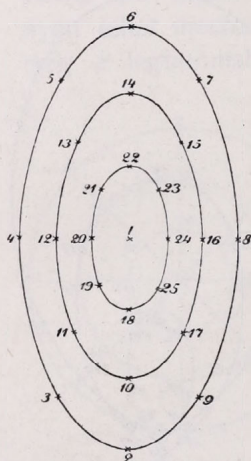
a fény mennyiség ugyan egyenlő, de különböző terjedelmű felületen van elosztva, úgy hogy a képnek a vonal fölött fekvő része sokkal kevésbé intenzívnek látszik, mint az alatta fekvő.

Ilyféle objektívnél valamely csillagnak a főtengelytől oldalt eső képe a fotografuslemezen ellipszis-alakú korongnak látszik, melynek legnagyobb fényessége az ellipszis egyik gyújtópontjához közel esik. Ha a csillag fényessége nem volt elég erős ahhoz, hogy az 5, 6, 7, 14 pontok tájékán észrevehető hatást gyakoroljon, akkor az ellipszis egyik széle hiányzik. A képek ilyenkor üstökösökhöz hasonlítanak.

Ahhoz, hogy a lemezen kimért csillagtávolságok valóban meg is feleljenek az égi látszólagos távolságoknak — a szabályos



torzulást is számításba véve —, szükséges, hogy a rajzon az *I*-gyel jelzett pontra állítsuk be a mérőműszert. Az *I* pont az a pont, a melyben a fősugár a lemez síkját találja. Központon kívüli fekvése miatt ezt a pontot nem lehet teljes biztossággal kijelölni. Bizonyos közelítéssel akként fogjuk megkapni, hogy az optikai tengelyen kívül fekvő csillagkorongnak ama helyére állítjuk be a műszert, a hol a legnagyobb feketedés mutatkozik. A feketedés e maximumát látni azonban annál nehezebb, mennél fényesebb maga a csillag, vagyis mennél inkább látszik egyenletes feketeségűnek ez az ellipszis-alakú korongocska.



122. rajz.

Ennélfogva ezt a pontot mindig inkább a korong közepe felé fogjuk helyezni s tökéletesen exponált lemezeknél egyáltalán csakis a korong geometriai középpontjára fogunk beállíthatni, ha nem akarjuk magunkat teljesen bizonytalan becslésekre bízni. Ez a körülmény növeli a beállítás bizonytalan-ságát s ehhez még a csillag fényességétől s a kinntartás idejétől függő torzulás szegődik, melyet számítással nem lehet szigorúan követni.

Ha azonban a negyedik követelményt teljesítettük, akkor a 120. rajz a 122. rajzba megy át. Az optikai tengelyen kívül a csillagkorongocska ugyan ellipszis alakúvá lett, de az összes sugarak a fősugár körül

szimmetrikusan helyezkednek el. Az ezüstcsapadék maximuma minden körülmények között a korong geometriai közepében keletkezik, pontosan azon a helyen, a melyben a fősugár a fotografus-lemezt találja. A mérések mentesek a torzulástól. Mennél nagyobb az objektív, annál fontosabb, hogy mennél szigorúbb pontossággal legyen elkészítve, mert a hibák az objektív nagyságával nőnek, a mérés érzékenysége pedig legalább is ugyanaz marad.

A torzulás számításba vételével a lemez a lefotografált látszólagos konstellációnak minden részletben hasonló képe lenne, ha a fotografia teljesen változhatlan, állandó rétegen keletkezett volna. De ez nem így van. Az érzékeny réteg mindig valami szerves anyagból készül, mely a folyadékokkal való elkerülhetetlen

kezelés következtében meglágyul. Részben még föl is duzzad, tehát egyáltalán nem mondható stabilisnak. Ez alól csak a DAGUERRE-féle eljárás kivétel, mely azonban más okokból teljesen kiszorult a használatból. A rétegtorzulásra nagy figyelmet fordítottak, még pedig már a régebbi nedves kollódiumos eljárásnál is.

A nedves kollódium torzulására vonatkozó első tapasztalatokat RUTHERFORD tette az ő csillagfotografiáinak kimérése alkalmából. Tapasztalatai alapján RUTHERFORD kijelentette, hogy nagyobb észrevehető rétegtorzulások nem jönnek létre, különösen ha az üveg felszínét előbb vékony albumin-réteggel vonjuk be.

Mikor az 1874-iki Vénus-átvonulás megfigyelésére a fotografiát is segítségül hívták, az előmunkálatok között a rétegtorzulásra vonatkozó speciális vizsgálatok is szerepeltek. Ezeket PASCHEN hajtotta végre. Ő a rétegtorzulásra igen nagy értékeket talált, melyek arányos menet esetében  $\frac{1}{523}$ -ra menő összehúzódást árultak el s ennél fogva a kollódiumos lemezek alkalmazását a mérőcsillagászatban nagyon kétes értékűnek tüntették fel. De már RUTHERFORD figyelmeztetett a PASCHEN-féle eljárás hibás voltaára.

VOGEL H. C., LOHSE, VOGEL H. W. és WEINEK további vizsgálataiból azt a következtetést vonhatjuk, hogy a nedves kollódiumos eljárásnál csak helyenként megjelenő torzulások fordulnak elő, a melyek általában a mérés pontosságának határán fekszenek s több fölvétel fölhasználásánál *véletlen* hibának tekintendők.

Zselatin-lemeznél már előre is erős réteg-torzulást várnánk, mert hiszen a kinntartás a zselatin száraz állapotában történik, ez a zselatin pedig utóbb a folyadékokban eredeti vastagságának tízszeresére felduzzad. SCHEINER, BERGSTROM és LUDENDORFF vizsgálatai szerint azonban az ellenkezője következik be annak, a mit várnánk. A torzulások oly csekélyek, hogy az észrevehetőség határán maradnak. Azonkívül nem rendszeresen oszolnak el az egész rétegen, hanem épp úgy mint a nedves kollódium-lemezeknél csak helyi jellegűek.

Kevés esetben zselatin-lemezeken is találtak igen erős helyi torzulást, a mely, úgy látszik, hogy csak nagyon ritkán fordul elő, de néhány mm-re is rúghat. Ilyenkor a lemeznek egy helyén, mely többnyire köralakú s 4—5 mm átmérőjű, a zselatin majd-



nem teljesen hiányzik. Ferdén ráeső fényben ez a hely mint sekély gödör tűnik szembe. A gödör belsejében a zselatin olyan helyváltozásokat szenvedett, a melyek több mm-re is rúghatnak. Ezt akkor lehet igen jól felismerni, ha a lemezre másolt rács valamely vonala éppen ilyen helyen megy keresztül. A vonal ott erősen elgörbült vagy több darabra szakadt. Kisebb ilyféle hely a mérésnél alig vehető észre, ha közelében nincs a rácsnak valamelyik vonala s a véletlenül beléje került csillag pozíciója ez által óriásméretű hamisítást szenvedhet. A jelenség oka kétségtelenül a zselatin valamely részleges elfolyósodásában keresendő, mely úgy jöhetett létre, hogy valami savnak, pl. salétromsavnak egy csöppje ráfröccsent, vagy pedig valamilyen gomba- vagy baktériumtelep fejlődött. A csillagászati fotográfia számára egyik legfontosabb tapasztalás-szolgáltatta eredménynek tekintendő, hogy nem tekintve az éppen említett igen ritka, nagy helyi torzulásokat, a torzulásokra még a legpontosabb méréseknél sem kell tekintettel lenni, különösen akkor nem, ha a lemezre másolt rács segítségével a mérendő távolságok kicsinyek maradnak.

A finom rácsokat különösen azért másolják rá a lemezre, hogy ez által ártalmatlanná tegyék a zselatin-réteg rendszeres torzulásait, a melyektől eleinte annyira féltek. A rács másolása a következőképpen történik: Tükörüveg ezüstrétegébe gyémánttal a lehető legnagyobb pontossággal egymásra merőleges vonalak hálózatát karczolják. A vonalak távolsága egymástól rendszeren 5 mm szokott lenni. A különben átlátszatlan tükörlemezen csak ezek a vonalak bocsátják keresztül a fényt. Mielőtt a csillagos eget lefotografálnók, előbb ezt a vonal-hálózatot másoljuk rá az érzékeny lemezre, a mely az előidézés után mint sötét háló jelentkezik. Ezek a vonalak rendkívül finomak, alig szélesebbek 0.01 mm-nél s így magát a fölvételt nem károsítják. Ily hálózatokat oly pontossággal sikerült előállítani, hogy a vonalaknak távolsága egymástól még a legfinomabb méréseknél is mindenütt pontosan egyenlőnek tekinthető. Ha most a méréseket akként rendezzük be, hogy pl. valamely lefotografált csillag helyét csak a hozzá legközelebb eső rácsvonaltól mérjük, akkor a nagyobb torzulások egyformán befolyásolják a csillagot és ezt a vonalat és így a hiba a megmért távolságból kiesik, ha a hálózatot hibátlanak tekintjük.

Minthogy a torzulások csekélyek, ezért a hálózat vagy rács tulajdonképpen nem is szükséges. Alkalmazása azonban más lényeges előnyt von maga után, t. i. azt, hogy a tulajdonképpeni mérések csak legfeljebb 5 mm-re terjedő kicsiny távolságokra szorítkoznak. Ez első sorban a mérőműszer egyszerűbb szerkezetét teszi lehetővé, de másrészt a mérések is pontosabbá lesznek, mert a mérőműszernek hőmérsékváltozások és elgörbülések okozta elkerülhetlen változásai sokkal kisebb mértékben befolyásolják a kicsiny távolságokat, mint a nagyokat.

A rétegtorzulást nem tekintve, még csak egy körülmény van, mely az égi konstelláció és a lemezen levő kép teljes hasonlóságát módosítja, s ez annak a tökéletlenségnek az eredménye, hogy a távcső irányát nem tudjuk pontosan betartani akkor, a mikor a csillagra célzunk. A pontos célzásnak hosszabb idejű kinntartásnál fölmerülő legfőbb nehézségét konstruktív úton sikerült elhárítani, még pedig azáltal, hogy a fotografáló- és a célzó-távcsövet együvé foglalták s a két műszer viszonylagos elgörbülését megszüntették. De azért a csillag célbantartása mégis ügyesség, melyet előbb meg kell tanulni s mely sohasem sikerül teljesen, ha a távcső hajtóóraserkezete rosszul működik, vagy ha nincs pontosan beszabályozva. A rossz célzás következtében a csillagkorongocskák rendesen körte- vagy ellipszisalakúvá torzulnak, a mi első sorban a mérésnél való beállítás pontosságát nehezíti meg. De ez csupán a kisebbik baj. Sokkal súlyosabban esik a latba, hogy fényes és gyöngé csillagok nem egyformán torzulnak. Tegyük fel pl., hogy a hajtóóra siet, akkor ha az észlelő nem eléggé gyakorlott, vagy nem eléggé figyelmes, a csillagok a kinntartás idejének legnagyobb része alatt pontos helyükön fognak megjelenni. De kis részben a napi mozgás irányában a főképtől kis távolságnyira eltolódnak. Ennek az lesz a következménye, hogy fényesebb csillagoknál ez a kis darab is megjelenik a fotografián; a csillagkorongocskának ezen oldal felé keskeny folytatása van, mely a korong középpontjának megítélésében megtéveszt bennünket. Bizonyos fényerősségen alul a csillagok ezen a darabon nem hatnak a lemezre s képeik ezért kereknek. Ennélfogva a beállításban rendszeres különbség fog fölmerülni fényes és gyöngé csillagok között, a mely minden lemez számára a torzulás minémúsége szerint természetesen más



és más lesz, s melyet csak nagyon nehezen vagy pedig egyáltalán nem lehet meghatározni.

Hogyha hosszú kinntartási idő mellett a távcsővel közel jövőnk a horizonhoz, akkor nem lehet egészen figyelmen kívül hagyni annak a refrakció-különbségnek a hatását, mely az optikai és a fotografiai sugarak között fennáll. T. i. a célzó távcsővel csak az optikai sugártörést küszöböljük ki teljesen, a fotografiai kép ennél fogva a lemezen eltolódást szenved, az úgynevezett differenciális sugártörés következtében. (Ez onnan ered, hogy az optikai sugarak törésmutatója más, mint a fotografiai sugaraké.) Ha fényesebb csillagot használunk célpontul, akkor ajánlatos sötétkép üveget tenni az okulár elé, amiáltal ezt a hibát legnagyobb részben elkerüljük.

Minthogy a tökéletesen pontos célzás teljesen lehetetlen, azért minden csillagfotografián a csillagkorongocskák mindig kissé el vannak torzulva, ha csak oly kevésbé is, hogy ezt a torzulást még mikroszkóppal sem lehet fölismerni. Valami mindig befolyásolja a méréseket olyképpen, hogy a mérések ismétlése ezt a hatást nem tudja eltüntetni s így minden lemeznél rendszeresen érvényre jut. Nézetünk szerint ez a körülmény a pontosságnak határt szab. Igen gyakran tapasztaljuk, hogy a mérés tulajdonképpen hibája az ívmásodpercznek csak néhány századrészét teszi ki, míg a csillaghelyekben azután mégis néhány tizedrész másodpercznyi eltérések mutatkoznak.

Eddig azokról a hibaforrásokról szóltunk, melyeknek hatása abban nyilvánul, hogy a konstellációnak a lemezen levő képe nem tökéletesen azonos azzal, mely a fotografálás folyamata alatt az égboltozaton valóban megvolt. Most azokra a hibákra kell áttérnünk, melyek a lemezek kimérésénél irányadóak. De itt el kell tekintenünk mindazon hibáktól, melyek magától a mérőműszertől erednek. Maradnak tehát csak azok a hibák, melyek a mérést végző személytől függnének: a személyi egyenlet hatása a mérésekre. (V. ö. 66. lap.)

Kezdetben azt hitték, hogy a fotografiai mérések mentesek az efféle személyi hibáktól, mert ezeknél a megfigyelés módja oly rendkívül egyszerű az égen való közvetlen mérésekhez képest. Az utóbbiaknál a megfigyelés abban áll, hogy egy fonalat vagy fonalpárt állítunk be csillagkorongnak a képzelt közép-

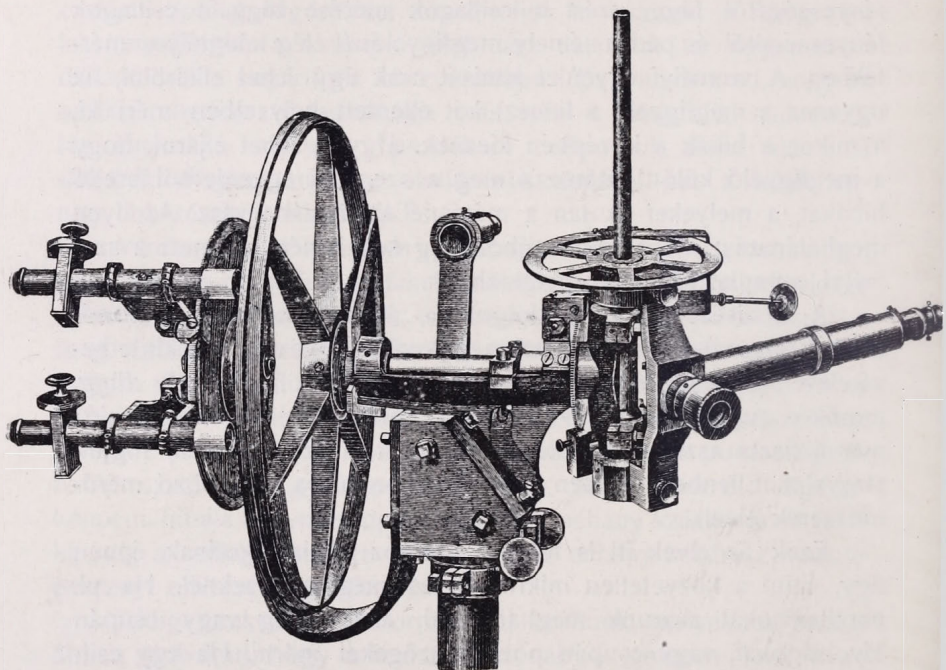
pontjába, vagy a Nap peremére stb. De a középpontnak illetően becslés szerinti kitézése hibákkal jár, melyek a célbavett égitest alakjától és átmérőjétől függnének, minek következtében azután a fonalat vagy túlságosan jobbra vagy balra, vagy túlságosan föl- vagy lefelé állítjuk be. Minthogy ez a személyi célzáshiba pl. csillagfölvételeknél a csillagkorong nagyságától, tehát a csillagok fényességétől függ, ezért a csillagok mérése függ a csillagok fényességétől és pedig némely megfigyelőnél elég tekintélyes mértékben. A személyi egyenlet hatását csak úgy lehet elkerülni, ha ugyanaz a megfigyelő a lemezt két ellentett helyzetben méri ki, a mikor a hibák a középben kiesnek. Úgy is lehet eljárni, hogy a megfigyelő külön határozza meg a személyi egyenletből eredő hibákat, a melyeket azután a mérésnél számításba vesz. Az ilyen meghatározást időről-időre újból meg kell ismételni, mert a személyi egyenlet idővel megváltozhatik.

A mérések további feldolgozása, átszámításuk az asztronómiában használatos koordinátákra azoknak a tényezőknek tekintetbevételével, a melyektől az éggömbön való látszólagos hely függ, minők a sugártörés, a preczesszió, a nutáció és az aberráció: már a tiszta asztronómia körébe tartozik s ezért itt nem fogjuk tárgyalni. Ellenben röviden el fogjuk mondani a különböző mérőműszerek elveit.

Ezek az elvek itt is főleg a célhoz alkalmazkodnak, éppen úgy, mint a közvetetlen mikrométeres megfigyeléseknél. Ha pl. parallaxisokat akarunk meghatározni, akkor elég vagy csupán távolságokat, vagy csupán pozíciószögeket mérni. Ha egy csillagot másik csillaghoz akarunk kapcsolni, akkor mind a két koordinátát meg kell mérni és így tovább. E helyen mindjárt arról az általános feladról akarunk szólni, hogy miként kell valamely lemezen néhány, vagy számos csillaghelyet a lehető legnagyobb pontossággal meghatározni azáltal, hogy hozzákapcsoljuk néhány csillaghoz, melyeknek helyzetét előzőleg más mérések segítségével már meghatároztuk. E feladat többféle megoldására csak a legutóbbi évek szolgáltatnak ösztönzést. Ezt főleg annak a határozatnak lehet köszönni, mely az ég fotografiai fölvételeiből oly precíziós katalógus készítését tűzte ki célul, mely valamennyi csillagot egészen a tizenegyedik nagyságrendig felöllelje.



Valamely lemez kimérését két, egymástól teljesen különböző módszer szerint lehet végrehajtani. Az egyik a mikrometrikus mérés. Az ehhez való mérőműszer mikroszkópokkal van ellátva. Itt ismét két fajtát különböztethetünk meg a szerint, a mint derékszögű vagy poláris koordinátákat mérünk. A második módszerrel szögeket mérünk, még pedig némi távolságban a lemez-



123. rajz.

től fölállított távcsővel. Az utóbbi módszer az égi szögek mérésétől csak néhány pontban különbözik, a mi annak következménye, hogy a lemez csillagai a műszerhez közel vannak, míg az égen való mérésnél a csillagok távolságát végtelen nagyra tekinthetjük. Ilyféle mérésekre szolgáló műszert KAPTEYN szerkesztett. Ez a műszer szolgált a déli ég fotografuslemezeinek, az úgynevezett »Cape Photographic Durchmusterung« lemezeinek a kimérésére. A 123. rajzból látható, hogy a műszer szerkezete igen bonyolult s ezért rövid leírás nem elégséges a magyarázatára.

Az összes többi mérőműszereknél a lemezt mikroszkópon át szemléljük. A csillagkorongocskákra való beállítás a mikroszkópban elhelyezett fonálkereszt segítségével történik. A derékszögű koordináták kimérésére szolgáló műszerek szerkezete ismét két-féle lehet, a szerint, a mint a lemezt egész hosszában kell kimérni, vagy pedig csupán egy kis részében, az utóbbit akkor, ha a lemezre hálózat van rámásolva.

Az első esetben vagy a mikroszkópnak kell mérhető módon eltolhatónak lenni az egész megméréendő hosszúságon végig, vagy pedig a lemeznek kell eltolhatónak lenni a szilárd mikroszkóp alatt. A lemez vagy mikroszkóp eltolódásának megmérése vagy egészben hosszú mikrométercsavar segítségével történik, vagy pedig valamely igen pontos mérővessző osztásvonalaihoz való csatolás által. Ilyen műszerrel rendesen csak egy irányban lehet mérni, tehát közvetlenül csak egy koordinátát lehet meghatározni. Ilyenkor szükség van olyan szerkezetre, a mellyel a lemezt pontosan  $90^\circ$ -kal lehessen elforgatni, a másik koordináta megmérése céljából. Itt vigyázni kell arra, nehogy összecseréljük az összetartozó koordinátákat, azaz nehogy az egyik csillag  $x$ -koordinátáját egy másik csillag  $y$ -koordinátájával egyesítsük.

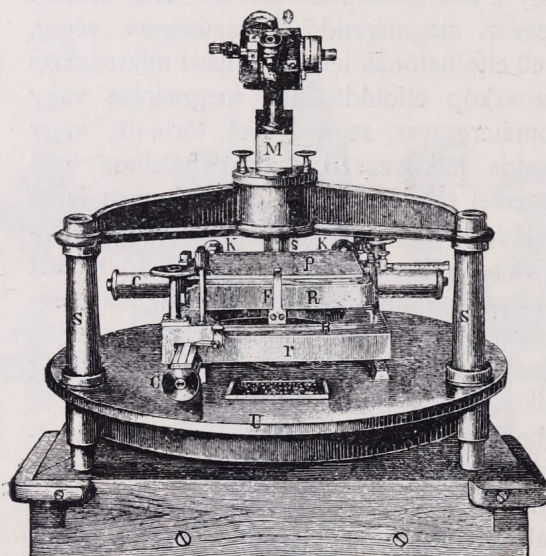
Sokkalta egyszerűbbek és kényelmesebbek az olyan mérőműszerek, a melyeknél a lemezre másolt hálózat van. Ezeknél a kimérendő hosszúság mindig kicsiny, nem nagyobb, mint a rács vonalainak egymástól való távolsága, vagyis  $5^m/m$ . Ezért a mérés mozdulatlan mikroszkóp és mozdulatlan lemez mellett okulármikrométerrel történhetik. Ilyen berendezés mellett könnyen lehet két, egymásra merőleges mikrométert használni, úgy hogy a két koordináta egyidejűleg mérhető s a koordináták összecserélése nem is lehetséges. Az efajta műszernél a hálózat minden egyes négyzetét külön kell a mikroszkóp alá hozni, a mi úgy történik, hogy a lemezt kettős szánszerkezetre szerelik. A szánek osztással vannak ellátva, a mely pontosan egyezik a hálózat osztásával, úgy hogy a mikroszkóp alatt levő négyzet számát leolvashatjuk.

A 124. rajz ábrázolja a potsdami obszervatórium mérőműszerét, a mely ezen elvek szerint készült. A mikroszkóp maga könyökbe van törve s előre van hajlítva, hogy kényelmesen bele lehessen nézni.

A polárkoordinátákban való mérés, azaz a távolság- és



pozíciószög mérése, pl. kettős csillagoknál, a mérőfotografiában ma már csak elvétve használatos. Maga a mérés körülményesebb és talán kevésbé pontos is, mint a derékszögű koordináták. De különösen az átszámítás a szokásos csillagászati koordinátákba nagyon körülményes és időrabló. Polárkoordináták mérésére szolgáló műszer legegyszerűbb szerkesztési elvéül a következőket kell tekinteni: A lemezt igazíthatóan keretre erősítik, a melyen



124. rajz.

a körosztás is rajta van. A körosztás leolvasására két, egymással szemben álló, állványra erősített mikroszkóp szolgál. A beállításhoz szolgáló mikroszkóp egyenes vonalban eltolható vízszintes szányszerkezeten nyugszik és úgy kell igazíthatónak lennie, hogy a fonálkereszt pontosan a körosztás forgási középpontjára essék. Távolságok mérése vagy úgy történik, hogy a mikroszkópok helyzetét közvetlenül a fino-

man beosztott szánsíneken olvassuk le, vagy pedig akként, hogy magával a beállításhoz szolgáló mikroszkóppal mérünk a szánsínekhez párhuzamos mérőbeosztáson.

A beállításhoz szolgáló mikroszkópot szilárdan is felállíthatjuk a pozíciókört, a lemezt és a leolvasáshoz szolgáló mikroszkópot a távolságok mérésére szánva erősítjük.

### Fotografiai regisztráló módszerek.

Eddig csak olyan csillagászati fotografiákról szólottunk, a melyekkel az ég egy részének lehetőleg hű képéhez akartunk hozzájutni. Most röviden el fogunk mondani egyet-mást a fotográfia

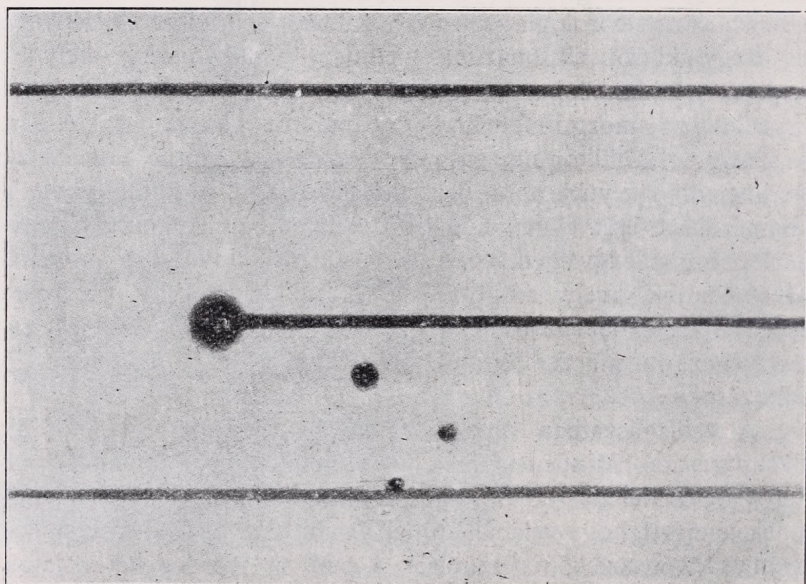
alkalmazásának egy másik módjáról. Ez a fotografiai regisztrálás módszere csillagátmenetek megfigyelésére szolgáló műszereknél. Használják a meridiánműszernél a csillagok helyének meghatározásánál (pozíció meghatározás), valamint az idő- és helymeghatározáshoz. Lehetőleg rövidek leszünk, mert ez a tárgy inkább a tiszta asztronómia körébe tartozik, mindenesetre nagyobb mértékben, mint az előbb tárgyalt fotografiai eljárások.

Fotografiai regisztráló módszerek már régóta használatosak a fizika és meteorológia számos ágában. E módszerek lényege az, hogy tükröt alkalmazunk a műszer ama részén, melynek forgását tulajdonképpen mérni akarjuk. A tükör a reá eső fényt egyenletesen mozgó fényérzékeny papírosszalagra veri vissza. A szalag és a tükör mozgásának összetevése görbe vonalat ad eredményül, melynek abszcisszái az időt adják, ordinátái pedig a tükör hajlásszögét. Higanyhőmérőknél és barométereknél a higanyoszlop hosszúságváltozásának mérésére a higanyoszlop árnyékát használhatjuk, mely mögötte eltolódó fényérzékeny papírosra esik. Mindezekben az esetekben a fotográfia valóságos regisztrálást végez: a műszer önműködőleg jegyzi fel a megméréendő változásokat.

A csillagászatban nincs alkalom az ily fajta regisztrálások alkalmazására. Mindenesetre elképzelhető, hogy az átmenetek megfigyelésénél használatos kronográfok fotografiai úton működjenek, ahelyett, hogy valamely tűnek a papirosra történő mechanikai nyomása végezze a regisztrálást, a mint az jelenleg használatos. De ez aligha jelentene nyereséget, hanem valószínűleg csak nagyobb bonyolódottságot és kényelmetlenséget vonna maga után. Más regisztráló módszerek talán több előnnyel járnának. Így pl. könnyen lehetne oly műszert szerkeszteni, mellyel a megfigyelő a meridiánkörnél a körosztásvonalaknak valamely mutatóhoz való viszonylagos állását az okulár felől lefotografálhatná. Ezen fotográfiának utólagos kimérése a mikroszkóppal való körleolvasást helyettesítené. Ilyen módon a megfigyeléseket gyorsabb egymásutánban lehetne végezni s egyúttal a második megfigyelőt nélkülözhetnők. Ilyenféle segédszerkezeteket bizonyára sokféle célra lehetne készíteni. De itt elégedjünk meg ezzel a néhány megjegyzéssel és térjünk át a tulajdonképpeni regisztráló módszerekre, a melyeknél a fotografuslemez az észlelő *szemét* helyettesíti.



A cél, melyet itt elakarunk érni, nagyon különböző lehet: nagyobb pontosság elérése az egyes megfigyelések szaporítása által, ugyanannyi idő alatt; időmegtakarítással ugyanazt a pontosságot elérni; személyi hibák elkerülése. Az utóbbi pontra vonatkozólag meg kell jegyeznünk, hogy a közvetetlen megfigyeléseknél mutatkozó hibákat el lehet ugyan kerülni, de helyükbe más természetű hibák lépnek.



125. rajz.

Az átmenetműszereknél használatos fotográfiai módszert az jellemzi, hogy a csillagok a napi mozgás következtében vonalakú nyomokat hagynak a lemezen (125. rajz). Ha ezekből a nyomokból az átmenet idejére akarunk következtetni, akkor egyes helyeken megszakításokat kell létesíteni, melyek a megfigyelésnél használt órával pontos összefüggésben állanak. Deklináció-meghatározásoknál vagy az ugyanazon lemezen levő különböző csillagok nyomait lehet egymáshoz viszonylag csatolni, vagy pedig a távcsővel összekötött valamely jelet (deklinációfonalat) kell együttesen lefotografálni.

Mozgó csillagok fotografálásánál a levegőnyugtalanság hatása a mérés pontosságára sokkal nagyobb, mint mozdulatlan csillagoknál. Az utóbbiaknál a csillaglengések kiegyenlítődnek. A fotografiai módszer előnye a közvetlen megfigyelés fölött éppen ezen a körülményen alapszik. Ellenben mozgó csillagnál a csillag látszólagos helyét minden pillanatban megörökíti a fotografuslemez. A csillag nyoma tehát gondosan lejegyi a levegő nyugtalanságát, úgy hogy erre igen jó módszert lehet alapítani a levegőnyugtalanság megvizsgálására. A csillagmozgás irányára merőleges ingadozások kiemelkedések alakjában jelentkeznek a különben símvonalú nyomon. Azok az ingadozások, melyek a mozgás irányába esnek, gyengébb illetve erősebb voltakkal mint csomók árulják el jelenlétüket. Ennélfogva nagyon nehéz két fonál közé beállítani a nyugtalan levegő mellett kapott csillagnyomot s az elérhető pontosság tetemesen csekélyebb, mint a nyugodt levegő mellett készült csillagnyom. Sőt, úgy látszik, mintha pontossága még csekélyebb lenne, mint a hasonló körülmények között végzett közvetlen megfigyelése. Jelentősen jobb eredményt érhetünk el, ha csillaggal nem folytonos, hanem szakadozott nyomot állítunk elő a lemezen, oly módon, hogy igen sokszor exponálunk, de mindig csak rövid időre, kevesebbre, mint a mennyi idő a csillag átmérőjének befutására szükséges. Ebben az esetben a nyom egyes elnyújtott csillagképecskékből áll, a melyekre olyan pontosan lehet beállítani, mint nyugvó csillagok korongjára. A levegő nyugtalansága következtében minden egyes pont szenvedett helyváltozást. Ha nagyobb számú ilyen pontra végezzük a beállítást, a középérték mentes lesz a levegő nyugtalanságának hatásától. Ezek a megszakítások egyúttal a rektaszcczenziók meghatározására is alapul szolgálnak.

Először a Georgetown Observatory használt olyan műszert, a mely ilyen szakadozott csillagnyomokat szolgáltatott. E műszert fotokronográfnek nevezték el. A távcső gyújtósíkjában a közönséges fonálkereszt helyett üveglemez foglal helyet, melybe vonalak vannak bekarcolva s a melylyel az érzékeny lemez közvetlenül érintkezik.

Az üveglemez közepe előtt vízszintesen vékony aczéллеmez foglal helyet, úgy hogy az átmenő csillag fénye nem érheti az érzékeny lemezt. Az aczéллеmez elektromágneses emeltyűvel kap-



csolatos. Az elektromágnes elektromos ingaóra áramkörébe van kapcsolva. Az inga minden ütésénél az aczéллеmez 0.1 mp.-nyi ideig fölemelkedik, úgy hogy minden mp.-ben 0.1 mp.-ig tartó kinn-tartás jön létre. Hogy a mp.-eket meg lehessen különböztetni, a 29., 57., 58. és 59. kontaktus elmarad. A hálózat másolása az objektíven át való rövid megvilágítás segítségével történik, miközben az aczéллеmez a csillagnyomot eltakarja, nehogy ez a megvilágítás által kárt szenvedjen.

Az már tisztán a csillagászati gyakorlat ügye, hogy az ilyen berendezést miként kell az átmeneti műszerre (passage-műszer) felszerelni és hogyan kell ama berendezés szerkezetét a passage-műszerhez alkalmazni. Az, hogy valóban elérték-e a fotográfia alkalmazásának főcélját, a nagyobb pontosságot a passage-műszeren való észlelésnél, még nincs eldöntve, mert eddig az ez irányú alkalmazás igen korlátozott maradt.

SCHNAUDER hozta javaslatba, hogy a fotográfiát utazásoknál közelítő helymeghatározásokra, különösen szélességmérésekre használják. Itt nem az a cél, hogy a pontosság nagyobb legyen, mint az eddigi módszernél, hanem azt kell lehetővé tenni, hogy a helymeghatározást oly emberek is végezhessek, a kiknek nincs asztronómiai képzettségük s hogy azonkívül a műszerek könnyebben kezelhetők és a szükséges idő tetemesen rövidebb legyen. Erre a célra legegyszerűbb műszer kis fotografuskamara, mely közel függőleges tengelyre két ütköző közt forgathatóan van szerelve. Tárgylencsésül közönséges nagy látómezejű lencse szolgálhat (a minő arczképfölvételeknél használatos). Ezt a lencsét a zenit felé irányítjuk. A kamarára két, egymásra merőleges szintező van szerelve. Ezeknek azimutban való tájékoztatására (a délirányhoz képest) elégséges egy iránytű, vagy egy beállítás a sarkcsillagra. Ezután két fölvételt készítünk a kamarának egymástól 180°-kal különböző két helyzetében. A számítás egyszerűsítése céljából előnyös három fölvételt készíteni 0°, 180°, 0° helyzetben. A közönséges fotográfiai objektívek nagy látómezeje mellett minden körülmények között mindig lesz több csillag, a melyeknek a nyomai lefotografálódnak. A csillagnyomok egymástól való távolságának kimérése kapcsolatban a fölvétel közben eszközölt szintezéssel (nivellement) szolgáltatja azután a csillagok zenitdisztanciáit s ezáltal az észlelőhely földrajzi szélességét vagy sark-

magasságát. A műszert a földrajzi hosszúság meghatározására is lehetne fölhasználni, csak hogy ekkor más úton kapott pontosabb időmeghatározásokat kellene segítségül venni, vagy pedig a Holdat is le kellene fotografálni.

A földrajzi hosszúság a Holdnak fényesebb csillagoktól való távolságai segítségével fotografiai úton szintén meghatározható. Az erre vonatkozó első kísérlet valószínűleg RUNGE-től származik, a ki közönséges rögzített fotografuskamarával először a Holdat fotografálta le s egy órával utóbb az Oroszlán csillagképét, a mikor ez a csillagkép került a közben zárva volt kamara látómezejébe. E módszer egyik hátránya, hogy nem lehet ellenőrizni, vajjon időközben a kamara helyzete változatlan maradt-e, a mint a föltevés ezt kívánná, másik különös hátránya pedig, hogy a Hold széle a Hold mozgása és nagy fényessége miatt elmosódott.

Még sokkal nagyobb mértékben szenved ezen hátrányban a SCHLICHTER-től ajánlott módszer. SCHLICHTER a Holdat és a csillagokat egyidejűleg fotografálja le a kamara oly helyzetében, a melynél a lemez közepe lehetőleg a Hold és az illető csillagok között középpont van. Ugyanerre a lemezre azután két, közel azonos távolságú állócsillagot fotografál le szimmetrikus helyzetben, a melyek azután a hold-távolságok szögértékét szolgáltatják. Mint-hogy az állócsillagok egyidejű lefotografálása hosszabb kinntartást igényel, azért az elmozduló Hold képe teljesen elmosódott s csak némileg pontos mérésre is alkalmatlanná válik.

A hold-távolságmérés fotografiai módszerét KOPPE javította lényegesen az által, hogy kiküszöbölte a Holdnak mindig elmosódott képét. Erre a célra minden  $180^0$ -kal átsapható fotografáló műszert lehet felhasználni, ha célzó távcsővel van ellátva. KOPPE maga az ő fototheodolitját használta előnyösen, a mely különben más célra készült. A távcsövet akként állítják be a Holdra és az összehasonlítandó csillagra, hogy a forgatható fonálkereszt egyik fonala áthalad a csillagon és a holdkorong középpontján, miközben a másik fonál a Hold peremét érinti és ezt az érintést a 20—30 mp.-ig tartó kinntartás idejére a finom mozgás segítségével fenntartják. Ezután a távcsövet a kamarával együtt  $180^0$ -kal átsapják, épp úgy beállítják, mint az előbb s egy második fölvetelt készítenek. Ily módon két képet kapnak, melyek egy egyenesben fekszenek.



A holdképek érintik egymást, a csillagok pedig a holddistanzia kétszeresére vannak egymástól. Mélni csak a csillagokat kell, az elmosódott holdképek nem is jutnak szerephez. Itt is két ismert állócsillagot kell lefotografálni, hogy az ív-értéket meg lehessen határozni.

A holdperem célbantartása az aránylag rövid exponálás-idő alatt könnyen teljesíthető. De azért az elkerülhetetlen ingadozások és a Hold saját mozgása következtében a keletkező csillagképecskék nem teljesen köralakúak és nem szimmetrikusak. Mindazonáltal az elérhető pontosság igen nagy, amint ezt KOPPE egy példán megmutatta. A Hold és az  $\alpha$  Virginis távolságának közepes értéke négy lemezről három-három fölvétellel a kiszámított hold-távolsághoz képest csak 1'3"-nyi eltérést mutatott, a mi a földrajzi hosszúságban 2'8 mp.-nyi hibát jelent. Ezzel bebizonyosodott, hogy e módszer utazásokon hosszúság-meghatározásokra használható. Ha éppen nem is szükséges, hogy a megfigyelő az asztromomus képzettségével rendelkezék, azért mégis kívánatos, hogy behatóbban ismerje a fototheodolittal való bánásmódot és hogy a célzásba különösen be legyen gyakorolva.

## TIZENHETEDIK FEJEZET.

### A fotografiai fotométria.

Fotométriai mérések nemcsak közvetlenül a szemmel végezhetők, hanem a fotografiai lemezen is, még pedig két különböző módszer szerint.

Az első módszer veleje az, hogy valamely fényforrás-okozta ezüstcsapadék sűrűségét összehasonlítjuk valamely más fényforrással előidézte ezüstcsapadék sűrűségével. Ha pusztá szemmel végezzük az összehasonlítást, akkor nem annyira a sűrűséget ítélnék meg, mint inkább az áttetszőséget. Az áttetszőség összehasonlítása a fotométria összes alapelvei szerint történhetik s valójában egyáltalán nincs lényeges különbség a közvetlen fotométria és az ilyenféle fotografiai fotométria között. A fényesség fotografiai összehasonlítása kerülő-út számba megy, mely azonban számos esetben kétségtelenül tökéletesítést jelent, habár a tulajdonképpen mérés,

az egyenlő területi fényességek előállítása, teljesen ugyanazon fiziológiai pontosság-határnak van alávetve, mint a közvetetlen összehasonlítás. Azonban miként említettük, vannak tényezők, a melyek a fotografiai mérésnek gyakorlatilag nagyobb pontosságot kölcsönöznek. Ilyenek pl. a levegő-nyugtalanság elmaradása s a mérés kedvezőbb körülményei nappali világosságnál, nagyobb nyugalom és kényelmes testtartás mellett. Előfordulhat az az eset is, hogy két tárgy felületi fényessége a kékben és az ibolyaszínben erősebben különbözik egymástól, mint a sárga színben. Ilyenkor azután a nagyobb fotografiai kontraszt pontosabb eredményt szolgáltat, mint a közvetetlen látásnál jelentkező kisebb kontraszt. Ez az előny azonban arra emlékeztet bennünket, hogy a fotografiai fotométria eredményeit egyáltalán nem szabad minden további meggondolás nélkül az optikai fotométria eredményeivel összehasonlítani, mert ezek a mérések a színeknek teljesen különböző részeire vonatkoznak. Ha gondosan számolunk ezzel a körülménnyel, akkor a fotografiai fotométriának az optikai fotométria *mellett* is önálló értéket tulajdoníthatunk, amennyiben mindkét eljárás eredményeiből hasonló következtetéseket vonhatunk, habár tökéletlenebb módon, mint a spektrofotometriai megfigyelésekből.

Magától értetődik, hogy ez a fotografiai kerülő-út új hibaforrásokat is von maga után, a melyeket gondosan tekintetbe kell venni. A hiba-források oka a különféle lemezek különböző érzékenységeiben és különböző színezetében keresendő. E szerint igen gondos és hosszadalmas vizsgálatok nélkül kifogástalan eredményeket csak akkor kaphatunk, ha a két összehasonlítandó tárgy képe ugyanazon lemezen van. Még az sem nyújt elég biztosítékot, ha a lemezek mind ugyanabból az emulzióból készültek is, mert a lemezek érzékenysége idők folyamán változik. Az elkészítés után néhány hónappal az érzékenység növekszik s azután lassanként csökken. A réteg vastagsága s ezzel együtt a csapadék áttetszősége sem ugyanaz a különféle lemezekben. Azonkívül első sorban az előidézés is hatással van, mert még ugyanaz az előidéző is különböző hőmérsékletek mellett érezhető változásokat idéz elő a csapadékban. Különféle lemezfajták alkalmazása teljesen hibás eredményekre vezethet. A fotografiai gyakorlatban különbséget tesznek az úgynevezett kemény és lágy lemezek között. A kemény lemezek érzékenysége erős



fényhatások iránt sokkal nagyobb, mint a lágy lemezeké, ha egyébként a leggyengébb fényhatások iránt egyenlően érzékenyek is, így pl. az egyik lemezen az ezüstcsapadék maximuma az első csapadéknym előidézéséhez szükséges fényerősség százszorosánál jelentkezik, míg más lemezen a háromszáz- vagy négyszázszorosa szükséges. Különböző előidézők különböző színű csapadékokat eredményeznek. Az összehasonlításnál azután ugyanazokkal a nehézségekkel találkozunk, mint az optikai fotométriában.

A helyett, hogy két csapadék áttetszőségét közvetlenül a szem segítségével hasonlítani össze, úgy is járhatunk el, hogy nagyobb nagyítású mikroszkópot használunk, amint az például a HARTMANN-féle mikrofotométernél történik. Akkor azonban nem annyira az áttetszőségét hasonlítjuk össze, mint inkább a csapadék sűrűségét.

Előbb megjegyeztük, hogy a fotografiai fotométriában felhasználhatjuk a fotométria összes elveit, bár ezek némelyike talán nem egészen célszerűen alkalmazható. Ezenkívül még egy másik elvet is felhasználhatunk, a mely az optikai fotométriában nem szerepel, t. i. az összehasonlítást valamely állandó fotografiai fényességskálával. Ilyen skálát fotométriail elv alapján állíthatunk elő oly módon, hogy egymással határos lemezrészec sorozatát megvilágításnak tesszük ki akként, hogy a megvilágítás folyton egy határozott intenzitás különbséggel növekszik s így a leggyengébb csapadéktól egészen a csapadékmaximumig minden lehető fokozat létrejön. Erre a célra pl. a SCHEINER-féle szenzitométer alkalmas. Két egymással összehasonlítandó tárgy áttetszőségét vagy közvetlenül becsülhetjük, úgy hogy két skálarész közé fogjuk, melyek közül az egyik világosabb, a másik sötétebb, vagy ha nagyobb pontosságot akarunk, akkor fotométriail mérést alkalmazunk a becslés helyett.

Valamennyi fotografiai-fotométriail módszernél (még az alább részletezett lineáris mérések második módszerénél is) nagy nehézség jelentkezik, mely a fénynek a fényérzékeny anyagokra való hatásának legbensőbb mivoltával függ össze s melynek megértésére kissé bővebb magyarázat szükséges.

Mechanikai munkán — mint ismeretes — értjük az erőnek és annak az útnak a szorzatát, a melyen az erő működik. Egyszerű példa ezt jobban megvilágítja. 4 kg súlyt pl. 10 m

magasra kell emelni. Ebben az esetben az erő nem egyéb, mint a Föld vonzása a 4 kg-ra, a melyet közvetetlenül az 1 kg-nyi súlyegységgel mérhetünk. Az útegység 1 m, példánkban a munka ennélfogva a 4 és a 10 szorzata, tehát 40 kilogramméter. Ha pl. 10 kg-ot 4 m-nyi magasra kell emelni, akkor a munka ismét csak a kettő szorzata, vagyis 40 kilogramméter, azaz mind a két esetben a munka ugyanaz. Ebből azt a fontos következtetést vonhatjuk, hogy tetszésszerint fölcserélhetjük egymással a két tényezőt, a melyeknek szorzata a munkát szolgáltatja. Ha 20 kg-ot 2 m-nyi magasságba kell emelni, akkor a munka ismét 40 kilogramméter. Eszerint teljesen közömbös, hogy mi a számértéke az erőnek, illetve az útnak; hacsak e tényezők szorzata ugyanaz, akkor a munka is ugyanaz.

Most áttérünk a munkasiker fogalmára. Hogy előbbi példánk mellett maradjunk, a 40 kilogramméter munka mindig ugyanaz marad, tekintet nélkül arra, hogy egy másodperc, vagy pedig egy óra alatt vitetett véghez. A munka maga tehát független az időtől. De annak a számára, kinek a munkát végeznie kell, az idő egyáltalán nem közömbös. Ha valaki 40 kilogramméternyi munkát egy másodperc alatt végez, akkor az erejét teljesen kimeríti, míg ha pl. egy órányi ideje van a munka végzésére, akkor a legcsekélyebb fáradságot sem fogja érezni. Munkasikeren értjük a munkának az idővel való hányadosát, vagy pedig — minthogy út osztva idővel = sebesség — az erő és a sebesség szorzatát. Időegységül a másodpercet vesszük. A munkasiker egysége ennélfogva a kilogramméter másodpercenként. Mellesleg megjegyezzük, hogy 75 kilogramméter másodpercenkénti munkasiker az úgynevezett lóerő.

A fény is végez munkát a fotografiai lemezen. Ennek hatását az előidézés után keletkezett ezüstcsapadék sűrűsége teszi szemléltethetővé. A fény munkasikerét a fény intenzitásával vehetjük egyenlőnek és hogy a munkasiker az időtől függ, az abból a tényből következik, hogy általában az ezüstcsapadék annál sűrűbb lett, mennél tovább tart a fény hatása. Ennélfogva azt tehetnők fel, hogy az ezüstcsapadék a teljesített munka mértéke. Ha  $i$ -vel jelöljük a fény 1 mp. alatt végzett munkáját vagy intenzitását,  $t$ -vel pedig a kinntartás idejét, akkor az összmunka, vagyis az ezüstcsapadék sűrűsége  $i \times t$  szorzattal lesz egyenlő. De akkor valahányszor ez



a szorzat ugyanaz, mindig ugyanannak a csapadéksűrűségnek is kellene keletkeznie, még akkor is, ha  $i$ -t és  $t$ -t egymással fölcseréljük, vagy pedig más tényezőkkel helyettesítjük, melyek ugyanezt a szorzatot adják. Régebben azt gondolták, hogy ez igaz, bár a szolárizáció jelensége már elég világosan rámutat arra, hogy az ezüstcsapadék sűrűsége korántsem növekszik az idővel arányosan, hanem hogy az időnek valamely bonyolult periodikus függvénye. Ennélfogva az ezüstcsapadék sűrűségét semmiképp sem lehet a fény által véghezvitt munka mértékének tekinteni. De ez a körülmény rendkívül megnehezíti a fotografiának a fotométriára való alkalmazását s a kellő elővigyázat hiánya már sokszor vezetett teljesen helytelen következtetésekre. A következő példán láthatjuk, hogy mily gondosan kell e körülménnyel számolnunk.

Tegyük fel, hogy a már említett szenzitométer segítségével rendes skálát állítottunk elő. A két-két egymásra következő skálárész fényessége közötti állandó viszonyt a forgó szektorok elvén állítottuk elő, más szóval a *megvilágítás időtartama* skáláról skálárészre változik. De ez az időtartam a fentebbi  $t$  tényező a munkát jelentő szorzatban. Tegyük most fel, hogy ily skála segítségével kell meghatározni a holdfelület két részének fényességviszonyát. A Hold fotografiája a normálskálával ugyanazon a lemezen van s így mind a kettőt egyidejűleg előidézzük. E szerint tekintettel voltunk minden szükséges elővigyázati rendszabályra s így teljesen kifogástalannak kellene tartanunk az összehasonlításnak azt az eredményét, hogy a holdfelület  $A$  helye  $c$ -szer oly fényes, mint a  $B$  hely. Ez azonban nem úgy van. A Hold lefotografálásánál a megvilágítás tartama a holdfotografia valamennyi része számára ugyanaz. Ennélfogva az ezüstcsapadék sűrűségében mutatkozó különbségek egyedül az  $i$ -ben való különbségekből erednek. De a mint láttuk,  $i$  és  $t$  nem cserélhetők fel egymással s így az eredmény sem lehet helyes. Ebben az esetben a normálskálát nem lett volna szabad a forgó szektorok elve alapján készíteni, hanem olyan elv alapján, mely az intenzitás változásán nyugszik, a milyen pl. a polarizáció által történő fénygyöngítés elve.

Egyébiránt ha a mérendő különbségek kicsinyek, akkor kicsiny darabon szembeötlő hiba nélkül föltehetjük az  $i$  és  $t$  arányosságát, olyan formán, mint a hogy pl. görbe vonalak igen

kicsiny ívrészeit bizonyos számítások egyszerűsítése céljából úgy tekinthetünk, mintha egyenesek lennének.

Eddigi fejtegetéseink csupán a felületi fényességek fotografiai-fotométriái összehasonlítására vonatkoztak. Pontszerű fényforrások, minők pl. az állócsillagok, eddig még nem szerepeltek. Ilyen összehasonlítás azonban itt is lehetséges, ha az állócsillagokat a fotometrállás céljaira nem a gyujtósíkban fotografáljuk, hanem azon kívül, a mikor minden csillag képe koronggá húzódik széjjel. Igaz, hogy ezen eljárás alkalmával fényerősségben igen tetemes veszteség áll elő, de fényesebb csillagok vizsgálatánál ez nem számít. Sokkal súlyosabb az a körülmény, hogy a csillagok gyujtósíkon kívüli képei nem egyenletesen fényes korongok, hanem hogy a diffrakció következtében a korongok belsejében a fényesség szabályosan változik. SCHWARZSCHILD vizsgálatai azonban azt látszanak bizonyítani, hogy ez az út is jó eredményekre vezet. Mindamellettt ez a módszer talán fölösleges kerülőt jelent, mert van jó eredményekre vezető módszer pontszerű képek fotografiai fotométriás meghatározására. Ez a módszer az eddig említettek-től teljesen eltér s róla akarunk röviden megemlékezni.

Mióta a fotografiai módszereket a csillagos ég vizsgálatára először felhasználták, tudjuk, hogy a csillagok képe a lemezen korongocskák alakjában mutatkozik s hogy e korongok átmérője a csillag fényességével és a kinntartás idejével nagyobbodik. Ezért a csillagok fényességbeli különbségét a fotografuslemezen éppen oly könnyen lehet felismerni, mint a közvetetlen megfigyelésnél. De ezek a fényességbeli különbségek a lemezen meg is *mérhetők*; ezen alapszik a csillagászati fotométria egy új módszere, mely az optikai módszertől egy elvi pontban annyira lényegesen tér el, hogy a kettő között tulajdonképpen nincs is semmiféle hasonlatosság. Miként már többször említettük, minden optikai-fotométriái módszer alapján intenzitáskülönbségek megítélésén alapszik. E mellett teljesen közömbös, hogy milyen a mérőműszer szerkezete; de a megítélés pontosságának határa van s ennek oka a szem élettani sajátágaiban rejlik és ezeket a határokat semmiféle műszerrel sem lehet tágítani. Ismeretes, hogy az emberi szem már nem tud észrevenni oly intenzitásbeli különbségeket, melyek az intenzitás 1%-ánál kisebbek.

A fotografiai módszernél az intenzitáskülönbségeket hossz-



különbségekké változtatjuk át. Az ilyenfajta meghatározások pontosságának határát nem szabják meg élettani sajátságok; a határt csupán csak a módszer és a műszer tökéletlenségei szabják meg. úgy hogy a további tökéletesítésnek elvben semmi sem áll útjában. Véleményünk szerint ez a körülmény óriási előnyt biztosít a fotografiai módszernek az optikai módszer felett, melyet eddig mindig nem méltányoltak eléggé.

Az a kérdés, hogy mi az oka a fotografiai csillagkorongok kiszélesedésének, oly szoros összefüggésben áll annak kikutatásával, hogy milyen fizikai összefüggések vannak a csillagkorongok átmérői, az intenzitás és a kinntartás ideje között, hogy a rájuk adandó felelet czélszerűen csak együttesen tárgyalható.

A lemez erősen megvilágított helyeinek fotografiai kiszélesedése vagy kiterjeszkedése a megvilágítás határán túl nemcsak csillagok képénél mutatkozik, hanem minden kontrasztban gazdag fotografián. Régebben ezt a kiszélesedést »fotografiai« vagy »chemiai« szétsugárzásnak (irradiatio) nevezték s okául azt gondolták, hogy a chemiai folyamatok érintkezés folytán terjednek tovább a fényérzékeny rétegben, hogy tehát olyanféle folyamattal van dolgunk, a milyen pl. a chemiai egyesülés vagy bomlás, mely robbanó anyag egy pontjából indul meg.

BOND G. P. Cambridgeben volt az első, ki a csillagkorongok kiszélesedésének ügyével behatóbban foglalkozott. Erre vonatkozó vizsgálatait 1857-ben kezdte. Jellemző, hogy BOND már ekkor mily pontosan kutatta volt ki a tűnemény sajátságait s hogy mennyire felismerte a fotografiai-fotométriái módszer előnyeit, már a mennyire ez a fizikai ismeretek akkori állása szerint egyáltalán lehetséges volt: »Egyenlőtlen fényességű csillagok fotografiái között jól észrevehető alak- és intenzitásbeli különbségek mutatkoznak, ha egyenlő kinntartásidő mellett készült képeiket hasonlítjuk össze egymással. Természetesen szinte kínálkozik annak lehetősége, hogy a csillagokat fotografiai vagy chemiai nagyságrendjük szerint skálába sorozzuk, mely megegyezik a közönséges optikai skálával, de tőle abban különbözik lényegesen, hogy valóságos mérésekre alapítható, ellentétben azokkal a határozatlan és ingadozó becslésekkel, a melyekre a csillagászok eddig szorítkoztak, mikor a csillagok viszonylagos fényességét számokban akarták kifejezni. Az új módszer az eddig használtakat három

pontban mulja felül, föltéve, hogy a csillag fényének chemiai hatása elég erős arra, hogy értékének pontos meghatározása lehetséges legyen. A látás érzékének egyéni sajátosságai kevésbé fognak érvényesülni. A különböző nagyságrendekkel arányos intenzitás különbségeit illetőleg nem lesz annyi tér eltérések számára különböző megfigyelők között vagy rossz egyezések számára ugyanazon megfigyelőnek különböző időkben elért eredményei között. Végül teljesen le fogja győzni a problémánál felmerülő legnagyobb nehézséget, t. i. »a különböző színű csillagok összehasonlítását«.

Az a leírás, melyet BOND a tőle használt nedves kollódiumlemezeknek mikroszkóp alatti képéről ad, annyira megegyezik azzal a képpel, melyet a mai zselatinlemezeknél tapasztalunk, hogy leírása még ma is változatlanul érvényes:

»Mikroszkóp alatt úgy látszik, mintha a lemezek felülete számtalan átlátszatlan, szabálytalan alakú, hasonló külsejű részecskével lenne telehintve, akár valamely csillag képének legyenek részei, akár annak az alapnak, a melyre a csillag képe vetítve van. Bár e részecskék átmérői más és más lemezen erősen különböznek, a minek oka valószínűleg az előidézésnél végbemenő ellenőrizhetlen változásokban keresendő, azért átlagos nagyságuk ugyanazon lemez különböző részeiben mégis közel ugyanaz. Ha a részecskék összessége csillagkorongot alkot, akkor külsejükben a fényforrás fénybeli erősségét vagy gyöngeségét csak az az egy körülmény árulja el, hogy mennél fényesebb a csillag, annál nagyobb a csapadék mennyisége. Ezt arról lehet felismerni, hogy adott területen belül a részecskék száma nagyobb.

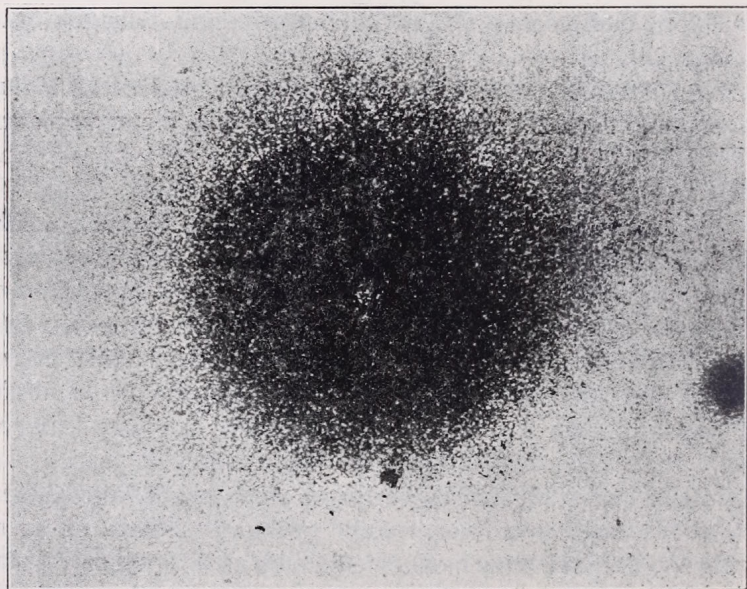
Nevezetes a kép létrejötténél mutatkozó az a sajátosság, hogy a csillag fényességétől függő, bizonyos határozott kinntartásidő szükséges ahhoz, hogy a fényhatás valamelyes nyoma észrevehető legyen. Közvetetlenül ezután a kép hirtelen keletkezik oly módon, hogy mintegy 1"-nyi átmérőjű területen belül 10—20 részecske tömörül össze. Számuk azután gyorsan nő, míg végül összeérnek és egyik a másikat elfedi. Eközben a kép határai minden irányban szélesbednek, a szemecskék folyton nagyobbodó területet foglalnak el a közép felé összesűrűsödve, a perem felé ritkulva«.

A fényhatás kiszélesedéséről BOND a következőket mondja:  
»A mérések jelezte fényhatáskiszélesedés magyarázata még némi-



leg homályos. Ha a tárgylencse tökéletlenségeiből eredő fény-szórás lenne az ok, akkor a nyílás kisebbitésével a jelenséget meg lehetne szüntetni. De gyakran keletkeznek hasonló képek különböző nagyságú nyílások mellett, ha számbavesszük a fény-mennyiség változását. De nagyon valószínű, hogy a jelenséget részben légköri zavarok okozzák.

A 126. rajzon láthatjuk egy erősen kiszélesedett korongocska



126. rajz.

képét, mely igen fényes csillagtól származik, melynek fényereje már a korong közepén képes volt a lemez szolarizációját előidézni. A világosabb helyek ebből származnak. Közvetlenül a kép alatt látható egy szomszédos gyöngye fényű csillag kicsiny korongocskája. Jobbra van egy közepes fényességű csillag korongjának egy része.

Világos, hogy ha ismerjük azt a törvényt, a mely szerint a csillagkorong átmérője függ a fényességtől és a kinntartás idejétől, akkor egyetlen csillag ismert fényességéből közvetlenül levezethetnők bármily más csillagok fényességét ezen a lemezen

vagy különböző lemezeken is. Erre nézve számos vizsgálatot végeztek BOND, PICKERING, SCHEINER, WOLF, CHARLIER és mások. De azok a törvények, a melyeket ezek a kutatók levezettek, egymással egyáltalán nincsenek összhangban. Végül SCHEINER kimutatta, hogy ez nem is lehetséges, mert ezek nem általános érvényességű törvények, hanem függnek az objektívek vagy reflektorok bizonyos sajátságaitól és állapotaitól.

Az okok egész sorát ismerjük, melyeknek együttműködése a csillagkorongok kiszélesedését eredményezi. Elsősorban a fénynek azt a visszaverődését tartották ilyen oknak, mely a képpont helyén a megvilágított brómezüst-részecskékről oldalt történik. De hogy ez nem az egyetlen ok, azt már WOLF kimutatta. Kísérletét akként rendezte, hogy valamely csillag képpontja keskeny átlátszatlan rácsvonásra esett, úgy hogy a lemezre közvetlenül fénypont nem is került. Mindamellett a rácsvonal két oldalán a csillagkorongocska két szelete jelent meg, még pedig ugyanolyan nagyságban, mint rácsvonal nélkül a fölvételeknél. Ezzel bebizonyosodott, hogy a korong nem primaer fénypontból kiinduló visszaverődés útján keletkezett. Másik kísérletnél a csillag gyújtópontbeli képe közvetlen közelében a fényérzékeny réteget porszemecskével vagy valami hasonló dologgal takarták le, amikor a lemez e helyén nem jöhetett létre fénybenyomás. De a porszemecske árnyékot vetett. Ebből következett, hogy a kiszélesedés az objektív felől jövő fénytől származik. WOLF kísérletei SCHEINER-t a következő megfontolásokra és következtetésekre vezették.

Ha a csillagkorongocskák kiszélesedése az objektív vagy tükör felől érkező fény tulajdonságától származik, akkor lényeges különbségnek kell mutatkoznia a lencse által létesített primaer fénypontnak és oly fénypontnak a hatása között, a melynél az érzékeny réteg *előtt* minden ilyenféle hatás ki van zárva, vagyis a mely fénypont finom nyílás segítségével létesült.

Finom nyílást, mely ennek a föltételnek eleget tesz, a melynél tehát diffrakció hatása ki van zárva, a következő módon lehet könnyen előállítani: Erős sárgaréz korongba kúpalakú mélyedést fúrunk be addig, míg a kúp hegye közel eléri a korong másik oldalát, a melyet azután egészen a kúp hegyéig vigyázva lecsiszolunk. Ily módon tetszés szerinti finom köralakú nyílásokat állíthatunk elő, melyeknek éles határa a fémkorong síkjában fekszik.



Ha erre a korongra szorítjuk a fotografiai lemez fényérzékeny rétegét és a kúpalakú nyíláson át történik a megvilágítás közel párhuzamos fénnel, akkor az él és az érzékeny réteg szoros érintkezése miatt észrevehető diffrakció ki van zárva. Ha tehát a fotografuslemez hátlapjáról kiinduló visszaverődés hatását a szokott módon kiküszöböljük, akkor a közvetlenül megvilágított ponton kívül eső lemezt részekre fényhatás csak úgy történhetik, ha az érzékeny rétegen belül jön létre visszaverődés.

Ilyenféle elrendezéssel véghezvitt kísérletek azt adták eredményül, hogy a keletkező korongocskák átmérője itt is nő, ha nő az intenzitás vagy a kinntartás ideje, hogy tehát belső visszaverődés következtében bizonyosan létrejön valami kiszélesedés, de a korongocskák aránylag igen kicsinyek maradnak.

Ahhoz, hogy a lencsék és nyílások segítségével kapott korongocskák átmérőit egymással össze lehessen hasonlítani, a két primaer korong fényintenzitásának ismerete szükséges. Ennek megszerzése azonban általában nagy nehézségeket fog okozni és csak a két intenzitás egyenlőségének speciális esetében lehetséges a közvetlen összehasonlítás, a mikor t. i. intenzitás és kinntartásidő elegendő nagyok ahhoz, hogy a primaer korong kezdődő szolarizációját idézzék elő. A kiszélesedett korongok közepe ekkor ismét világosabb lesz, csillagoknál éppen úgy, mint nyílások segítségével előállított korongoknál. Növekvő kinntartásidővel készült fölvételek ily sorozatánál a szolarizáció megjelenését meglehetősen biztonsággal lehet fölismerni. Ezáltal közös mértéket kapunk a fény által teljesített munka számára. Ha ezenkívül az intenzitásokat úgy választjuk, hogy a kinntartásidők a kétféle módszernél ne túlságosan különbözzenek egymástól, akkor az idő és intenzitás nem pontos arányosságából származó hibák értéke sem nagyon szembeötlő.

A szolarizáció kezdetekor a kiszélesedett korongok számára SCHEINER a következő átmérőket találta:

	Á t m é r ő		
	mm-ben	ívmásod-perczben	Primaer korong átmérője
Fotografiai refraktor ... ..	0.98	60''	0.05 $\frac{m}{m}$
VOIGTLÄNDER-féle euryskóp ... ..	0.88	480''	0.05 »
Finom nyílás ... ..	0.20	—	0.06 »

E szerint a refraktornál és az euryiskópnál a szolarizáció a primaer korongnak 16—18-szorosára való kiszélesedésekor kezdődött, a nyílás segítségével előállított korongoknál pedig már a 3- vagy 4-szeresére való kiszélesedéskor. Így tehát nem lehet semmiféle kétség sem abban, hogy a réteg belsejében való fény-visszaverődés aránylag csak nagyon keveset járul hozzá a csillagkorongocskák kiszélesedéséhez.

Egyúttal azt is lehet itt közelítőleg megállapítani, hogy miképpen viszonylanak egymáshoz az intenzitások a szolarizált korongocskák közepén és a szélső peremen, a hol éppen csak hogy még fényhatás létrejött. Így pl. refraktornál egy órai kinttartás mellett a korong-közép szolarizációja harmad-, negyedrendű csillagoknál kezdődik, s ugyanekkor a leggyöngébb, a kiszélesedett csillagkorongok peremének intenzitásával bíró csillagok 12-ed, 13-ad nagyságrendűek. Ennélfogva a perem fényessége 9–10 nagyságrenddel gyöngébb, mint a középé, az intenzitások pedig úgy aránylanak, mint az 1 az 5000-hez vagy 10 000-hez. Ebből kitűnik, hogy itt oly intenzitásbeli különbségek jelentkeznek, a milyenek optikai vizsgálatoknál egyáltalán nem szoktak előfordulni. A kiszélesedés jelenségének magyarázatához tehát oly tényezőket kell belevonni a számításba, a melyekre a távcsövi objektíveknél rendszeren nem szoktunk tekintettel lenni. Alább megkísérlünk egy magyarázatot, melynél a fotografiai refraktornál érvényes számokra támaszkodunk.

Elsősorban a kép közepét körülövező *diffrakciós-gyűrűket* lehetne számbajöhető tényezőnek tartani, mert az 1:5000 vagy 1:10 000 intenzitásarány a 7—9. gyűrűnél fordul elő. Fotografiai refraktornál e gyűrűknek 10"—12"-es sugaruk van. Fönnebb láttuk, hogy ugyanaz az intenzitás 30" sugarú korong számára jellemző. Maguk a diffrakciós gyűrűk tehát csupán a kiszélesedett korongok sugarainak feléig lehettek hatással.

Ezenkívül még a *tökéletlen színtelenítés* hatására is gondolhatnánk. Ez a föltevés annál valószínűbb, mert optikai sugarak számára színtelenített tárgylencsék éles csillagkorongot egyáltalán nem létesítenek s így itt kétségkívül az igen nagy kék és ibolya diffrakciós körök idézik elő a kiszélesedést. Azonban a potsdami fotografiai objektívnél a fotografiaiilag leghatásosabb sugarak, az *F*-től a szélső ibolyántúl, igen jól vannak egyesítve, még pedig



akként, hogy az  $F$ -nek megfelelő legerősebb diffrakciós kör, az  $F$  sugara csak mintegy  $0.1 \text{ mm} = 6''$ -et tesz ki. Csak  $C$ -nél ér el a sugár  $0.5 \text{ mm-t} = 30''$ -et, amint ez a vörös szín iránt érzékeny lemezek segítségével könnyen megállapítható.

A gömbi eltérés hatása az említett objektívnél éppen úgy, mint minden jobb csillagászati tárgylencsénél, nagyon csekély és szélső sugaraknál legfőljebb  $0.05 \text{ mm-t} = 3''$ -et tesz ki.

Össze nem ragasztott objektíveknél, a melyeknél a két belső felület görbületi sugara kevésbé különböző, kettős visszaverődés következtében második kép létesül a gyújtópontbeli kép mellett. Ennek a két képnek távolsága egymástól a két görbületi sugár különbségétől függ. Az optikai tengelyen kívül eső képeknél a két kép középpontja nem esik össze pontosan, azért mégis a visszaverődés következtében létrejött képzet lehetne a kiszélesedés okának tartani, mely kép a valódi gyújtósíkban korong alakjában jelenik meg. De könnyen kimutatható, hogy ez mégsem lehet így. Minthogy a második kép kettős visszaverődés következtében jött létre, ezért intenzitása csak mintegy  $1/400$ -ra tehető. De ha a kép sugarát  $1.5''$ -nek vesszük, a mi inkább sok, mint kevés, akkor a területi intenzitás  $1/60000$ -re csökken, ha a gyújtóponttól való távolsága akkora, hogy a gyújtósíkban a kívánt  $30''$ -nyi sugarú korongnak lássék.

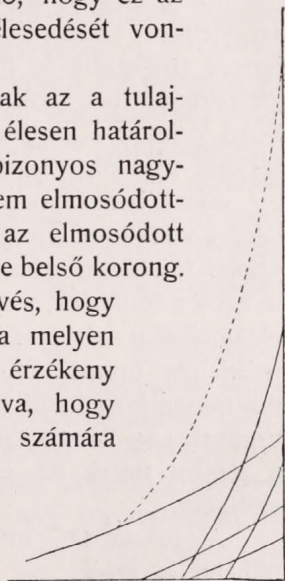
Sikerült talán kimutatnunk, hogy az objektívnek számítás-sal ellenőrizhető hibaforrásai között egy sincs olyan, mely magában elégséges lenne a fotografiai csillagkorongocskák kiszélesedésének magyarázatára, s hogy még összehatásukkal sem tudjuk megmagyarázni a hosszú kinntartásnál és nagy intenzitások mellett megjelenő erős kiszélesedést. Minthogy ezenkívül az ezen vizsgálatoknál fölhasznált foglalatlan objektív csak  $1/100000 \text{ mm}$ -en aluli eltéréseket mutatott a pontos gömbalaktól, a kiszélesedés magyarázatára még csak az objektív szabálytalan hibáit vehetjük segítségül. Kétféle ilyen hibát kell megkülönböztetnünk: először a felületi érdességeket, kis siódzásokat, légbuborékokat stb., melyek a lencsével változhatatlanul össze vannak forrva, másodsor pedig azokat a torzulásokat, a melyek az objektívnek keretbe való foglalása következtében létesülnek.

Az elsősorban említett hibák hatása nyilvánvalóan az, hogy az objektívre eső fénynek egy része nem a képpontban egyesül,

hanem mint szétszórt fény az egész látómezőben elterjed. Ezt a jelenséget igen jól láthatjuk, ha ferdén nézünk napfénytől megvilágított objektívre.

De minthogy a kicsiny hibák természetszerűen gyakoriabbak, mint a nagy hibák, azért a sugaraknak a rendes menettől való kicsiny eltérései szintén gyakoriabbak, mint a nagy eltérések, s következőleg nagyobb a szétszórt fény intenzitása a képpont közelében, mint tőle távolabb. Nyilvánvaló, hogy ez az ok a csillagkorongocskák korlátlan kiszélesedését vonhatja maga után.

A kiszélesedett csillagkorongocskáknak az a tulajdonságuk, hogy a míg kicsinyek, addig élesen határoltának látszanak, s csak az átmérőnek bizonyos nagyságán túl kezd észrevehetővé válni a perem elmosódottsága, míg végül igen nagy korongoknál az elmosódott rész nagyobb kiterjedésű, mint maga a fekete belső korong. Ha igaz az a kétségbe nem vonható föltevés, hogy van a kinntartásidőnek oly alsó határa, a melyen alul nem jön létre észrevehető hatás az érzékeny lemezre (előmegvilágítás), vagy megfordítva, hogy adott kinntartási idő mellett az intenzitás számára van megfelelő alsó határ: akkor a korongocskák fentebb említett sajátsága csak a következő magyarázatot engedi meg: Az intenzitás esése a képpont közelében oly meredek, hogy a távolság csekély változásának az intenzitás oly erős változása felel meg, hogy a teljesen redukált brómezüstből a redukálatlan brómezüstbe való átmenet igen kicsiny távolságon belül történik, miközben a képponttól való távolodással az intenzitás esése folyton gyöngül. A 127. rajzon a pontozott meredek görbe mutatja az intenzitásgörbe alakját; az ordinátatengely a primaer csillagkorong szélére van helyezve.



127. rajz.

A görbe létrejöttét a következőképpen kell gondolnunk: A képpont közelében a kiszélesedés előidézésében közreműködnek a fentebb elsősorban említett okok, tehát a diffrakció, a gömbi és színi eltérés, továbbá a rétegben való belső visszaverődés. Az ezeknek megfelelő intenzitásgörbéket a rajzban teljesen ki-



húzott vonalak jelzik. Valamennyien már közel a képponthez érik el a hatásküszöböt. A felső görbe mutatja az intenzitás menetét az objektív szabálytalan hibáiból származó fényszórásnál. Ez a görbe csak a tengelytől nagyobb távolságban éri el a küszöbértéket s ennél fogva menete sokkal laposabb is. Az öt (teljesen kihúzott) görbe összehatása szolgáltatja a kiszélesedett korongocskák (pontosztottan kihúzott) intenzitásgörbéjét.

Ezek alapján könnyen belátható, hogy ez a görbe minden tárgylencse számára más és más lesz, a szerint, hogy milyen a lencse szerkezete és megmunkálásának finomsága. Ebből magyarázhatók azután azok a különböző törvények, a melyeket különböző kutatók a korongátmérőknek az intenzitástól és a kinntartás idejétől való függésére találtak.

Kissé behatóbban foglalkoztunk a csillagkorongok kiszélesedésére vonatkozó vizsgálatokkal, mert jelentőségük alapvető a fotografiai fotométria ezen ága számára. Ugyanis belőlük vezethetők le azok a föltételek, melyek lehetőleg élesen határolt korongocskák előállításánál mértékadók, s a melyeknek figyelembevételével a fotométriában fokozottabb pontosságot érhetnénk el. Jelenleg ez a pontosság körülbelül vetekszik a legjobb optikai mérések pontosságával. Úgy látszik, mintha az átmérők hossz-mérése biztosítaná a jövőre nézve az egyedüli lehetőséget nagyobb pontosság elérésére.

A fotométriái mérésekre hatással van a korongtorzulás, mihelyt a mérés oly csillagkorongocskákra vonatkozik, melyek oly messze esnek a lemez középpontjától, hogy a rendes torzulás észrevehetővé válik. Körök helyett ellipszisekkel van dolgunk, melyeknek nagy tengelye a lemez közepe felé irányul. Itt egységes átmérőről nem lehet többé szólni, hanem meg kell mérni az ellipsziseknek úgy a kis, mint a nagy tengelyeit. Nincs általános szabály arra nézve, hogy miképpen függ össze a fényesség a középtől való távolsággal. Ehhez külön vizsgálat szükséges minden egyes tárgylencsénél vagy tükörnél. Általában csak annyit állíthatunk, hogy a korongocskák kiszélesedése következtében a fényesség a távolsággal nő addig, a míg a csillagok fényessége és a kinntartás ideje elég nagy ahhoz, hogy tökéletesen exponált fekete korongokat hozzanak létre. Oly csillagoknál, melyeknek fényessége erre nem elegendő, igen kicsiny átmérőjű, gyengének tetsző

korongok keletkeznek. Minthogy átmérőjük a lemez közepe felé kisebb, mint a széle felé, nagyobb távolság mellett ugyanaz a fénymenyiség nagyobb korongon kénytelen eloszolni, hasonlóképpen éppen az ellenkező következik be: a középtől nagyobb távolságra eső egyenlő fényességű csillagok nagyságrendjét kisebbre becsüljük. Itt becslés a helyénvaló kifejezés, mert a gyöngé korongoknál a fényesség fokozatait már nem lehet többé megmérni.

A levegő nyugtalansága szintén két irányban érezteti hatását. Fényes csillagok fekete korongjait megnagyobbítja s az átmérő hosszának megmérése ezért nagyobb fényességet fog eredményül adni. Gyöngé korongok a megnagyobbodás következtében még gyöngébbé válnak, fényességüket tehát túlgyöngére fogjuk becsülni. A hatást általában itt sem lehet számokkal jelezni, mert egyebek között különösen a használt távcső gyújtótávolságától függ. A fotografiai csillagtérkép fölvételeire szolgáló refraktoroknál a levegőnyugtalanság hatása félnagyságrendnél is nagyobbra növekedhetik minden irányban.

Most áttérünk a fotografiai fotométria egyik legfontosabb fejezetére, t. i. annak tárgyalására, hogy mely nagyságrendek képesek éppen még képet előidézni bizonyos kinntartásidő és adott műszer mellett. Ezt a tárgyalást az a körülmény teszi különösen érdekessé, hogy a fotografia által — fényerős műszerek és igen hosszú kinntartásidők alkalmazásával — még oly csillagok is észrevehetővé válnak, melyeket szemünk optikailag már nem képes meglátni. Mihelyt túlmegyünk a 11. vagy 12. nagyságrenden, a leggyöngébb csillagoknál az optikai fényességmeghatározás igen bizonytalanná lesz: a láthatóság határa a nagy refraktoroknál meglehetősen önkényesen van megállapítva, különösen pedig nem lehet arról szó, hogy a fényesebb csillagoknál szokásos nagyságrendközi fényességek köz csak némileg is pontosan betartassék.

Midőn a mult század nyolczvanas éveinek második felében az állócsillagok fotografiája hirtelen fellendülésnek indult, azt hitték, hogy ezáltal egyúttal a gyöngébb csillagok fényességének meghatározására is találtak módot. Magától értetődőnek gondolták, hogy intenzitás és kinntartásidő fordított viszonyban állanak egymással s hogy ennél fogva a kinntartásidőnek 2·5-del való folytonos szorzása által mindig egy-egy nagyságrenddel jutnak



előbbre. Ily módon már aránylag csekély kinntartásidők mellett is rendkívül alacsony fényességadatokhoz jutottak. Így pl. a csillagtérkép készítésére szolgáló 33 cm nyílású fotografiai refraktorok két óra alatt 17. nagyságrendű csillagokat rögzítettek volna a lemezre. Az a tekintély, melyben a csillagászati fotográfia ezidőtájt joggal részesült, még tetemesen emelkedett a műszerek ilyen rendkívüli képességeinek híresztelése által. De azért ez a túlzott és tudományosan meg nem okolható feldicsérés mégis használt a csillagászati tudománynak, mert nélküle talán nem jöhetett volna létre a csillagászati fotográfia iránt való oly nagymértékű érdeklődés, mint a milyen szükséges volt ahhoz, hogy a csillagászok a nagy égitérkép előállítására céljából nemzetközi társaságba tömörüljenek.

Az a föltevés, hogy hosszabb kinntartásidővel vele arányos fényerősségbeli nyereség jár karöltve, maga után vonja azt a másik már említett föltevést, hogy a fény által a lemezen végzett munkával minden körülmények között pontosan ugyanaz az ezüstcsapadékmennyiség keletkezik. Már tudjuk, hogy ez a föltevés nem helyes. Annak a kérdésnek eldöntése, hogy adott műszer és adott kinntartásidő mellett még mily nagyságrend lesz észrevehető, attól függ, hogy mily mértékben helytelen a leggyöngébb fénybenyomásoknál a munkasikernek a csapadékkal való mérése.

Erre nézve számos vizsgálatot végeztek, — elsőizben SCHEINER —, melyek a következő eredményekre vezettek. Míg a munkasiker törvényének helyessége esetében a kinntartásidőnek  $2^{1/2}$ -szeresre való emelése egy nagyságrenddel való előbbrejutást kellene eredményeznie, addig a valóságban csupán 0·5—0·7 nagyságrenddel haladunk előre. Ezeket a vizsgálatokat későbbben mások — különösen DUNÉR — igazolták és kiterjesztették, a mikből kitűnt, hogy az abszolút kinntartásidővel és a lemezfajtákkal való összefüggés igen bonyolult. Azt, hogy mit tesz ki a gyakorlatban ez a különbség, a 389. lapon levő táblázat mutatja. Az első oszlopban a  $2^{1/2}$ -szeressel növekedő kinntartásidőket találjuk. A többi oszlopokban találjuk a megfelelő nagyságrendértékeket, melyeket a törvény helyességének föltevése mellett még éppen nyerhetünk s ama föltevések mellett is, hogy a kinntartásidőnek  $2^{1/2}$ -szeresre való emelésével csak 0·7, 0·6 vagy 0·5 nagyságrenddel megyünk előre. Alapul vettük a csillagtérkép készítésére szánt fotografiai

refraktorokat, melyek 24 másodpercnyi kinntartás mellett rendes körülmények között 9·5 nagyságrendű csillagot éppen még a lemezre rögzítenek.

Kinntartás	1·0	0·7	0·6	0·5
24 <sup>s</sup>	9·5	9·5	9·5	9·5
1 <sup>m</sup>	10·5	10·2	10·1	10·0
2 30	11·5	10·9	10·7	10·5
6 15	12·5	11·6	11·3	11·0
15 38	13·5	12·3	11·9	11·5
39	14·5	13·0	12·5	12·0
1 <sup>h</sup> 37	15·5	13·7	13·1	12·5
4 3	16·5	14·4	13·7	13·0
10 7	17·5	15·1	14·3	13·5

A valóságot középértékben talán legjobban az közelíti meg, hogy a kinntartásidőnek  $2^{1/2}$ -szeresre való emelésével 0·6 nagyságrenddel haladunk előre. Ebből azután az következik, hogy a fotografiai normálrefraktorokkal csak tízórai kinntartással érhetjük el azokat a nagyságrendeket, melyeknek elérésére azelőtt 30 percnél kevesebb időt tartottak elégségesnek. Azok a túlhajtott várakozások, melyeket ezen irányban az állócsillagok fotografiájához fűztek, nem teljesültek ugyan, de azért a siker mégis nagyszerű és hatalmas haladást jelent a régibb időhöz képest. Azt mondhatjuk, hogy egy órai kinntartás mindazt láthatóvá teszi, a mit hasonló optikai műszeren át közvetlenül éppen még észrevehetünk. A kinntartásidőnek ezentúl való minden meghosszabbítása nyereséggel jár s minthogy a kinntartásidő majdnem korlátlan, azért hatalmas eredményeket lehet elérni. Könyvünk második részében sokszor lesz alkalmunk az említett nyereségről közvetlen szemlélet által meggyőződést szerezni.





MÁSODIK RÉSZ.

AZ ASZTROFIZIKAI KUTATÁSOK  
EREDMÉNYEI.





## HATODIK SZAKASZ.

### A NAP.

Abból a célból, hogy megérthessük azokat az eredményeket melyeket az égitestek fizikai szerkezetének kutatásában értek, tisztán csillagásztani ismeretekre kell támaszkodnunk, éppen ezért ezeknek tudását fel kell tételeznünk. De miként már a bevezetésben említettük, az asztronómia és az asztrofizika között nincs éles határ, s az ily határ betartása nem is kívánatos. Könyvünk e második részében gyakran fogunk találkozni tisztán csillagászati adatokkal, melyeknek összefüggését a fizikai tüneteményekkel és elméletekkel talán nem is fogjuk közvetlenül felismerhetni.

Ebben a szakaszban arra fogunk törekedni, hogy a mennyire csak lehet, tisztába jöjjünk a Nap természetével. Erre két ok indít bennünket. Először is a Nap számunkra a legfontosabb égitest: a Naprendszernek középpontja, a Nap áraszt el bennünket fénnel és meleggel, sugárzásának megvizsgálása pedig alapul szolgál a Naprendszer többi égitesteinek megvizsgálására. Másodszor pedig a Nap álló csillag, még pedig az egyedüli, mely oly közel van hozzánk, hogy beható kutatása lehetséges. A Nap vizsgálata útján kapott ismereteink ismét alapul szolgálhatnak az álló csillagok kutatásánál. E szerint az egyes szakaszok természetes egymásutánja ez lesz: a Nap, a bolygók és holdjaik, az üstökösök, a ködfoltok, az álló csillagok.

---



## TIZENNYOLCZADIK FEJEZET.

## A Napon végbemenő jelenségek.

Ha sötét üvegen át nézzük a Napot, élesen határolt köralakú korongnak látjuk s fényessége a közepétől a széle felé csökken. Egyes ritkább alkalmakkor sötét foltokat vehetünk észre a Nap korongján. Abból a célból, hogy jobban megértsük a napkorongon látható tűnemények terjedelmét és jelentőségét, jó lesz szem előtt tartanunk a valódi méreteket, a melyeket szögmérés és a Nap ismert távolsága segítségével számíthatunk ki.

A Napkorong látszólagos szögátmérője fél foknál valamivel több. AUWERS szerint eddig ismeretes legpontosabb értéke  $31' 59.26''$ , mikor a Nap közepes távolságban van a Földtől. Mint-hogy a Napnak közepes távolsága a Földtől 149 000 000 km, a Nap valóságos átmérője 1 383 000 km. Jó távcsövön át még tisztán felismerhető legkisebb szögmennyiség mintegy  $1''$ , vagyis a Napátmérő 1919-ed része. A Napkorongon észrevehető legkisebb tárgy átmérője ennél fogva  $1\ 383\ 000 : 1919 = 720$  km, a mi körülbelül akkora távolság, mint Skócia legészakibb csúcsától Anglia legdélibb csúcsáig. Angolországgal egyező terület tehát a Napon éppen még felismerhető mint külön alakulat. Fontos továbbá az is, hogy mindig szemünk előtt tartsuk, minő arányban állanak egymással a Föld gömbje és a Nap gömbje. A Föld középmátmérője 12 756 km, a mi a Nap átmérőjének csak  $\frac{1}{109}$  része. A Hold közepes távolsága a Földtől 385 080 km, a mi csak kevéssel több, mint a Nap átmérőjének  $\frac{1}{4}$  része. Nem szabad tehát sohasem szem elől téveszteni, hogy a Napon látszó legkisebb és legjelentéktelenebb tűnemények akkora területet foglalnak el, a melyet csak országokkal vagy kontinensekkel lehet összehasonlítani, s hogy továbbá a szembetűnőbb jelenségek méretei a Föld méreteit sokszorosan túlhaladják.

A Nap sarki és egyenlítői átmérőjének méréseiből nem derült ki semmiféle különbség hosszúságuk között, úgy hogy a Napot igen közel gömbalakúnak tekinthetjük. AUWERS szerint az átmérő  $\frac{1}{50000}$  részére rúgó lapultsága sincsen a Napnak. A legújabb vizsgálatok szerint azonban lehetségesek periodusos eltérések a gömb-

alaktól. Erről azonban még nem mondhatunk végleges ítéletet. POOR vizsgálatai, melyek a napátmérő legújabb méréseit is tekintetbe veszik, arra az eredményre vezetnek, hogy a Nap sarki és egyenlítői átmérőjének viszonya periodusos ingadozásoknak van alávetve, melyeknek időtartama a napfoltok periodusával látszik megegyezni. Igaz, hogy az átmérők változása csak  $0.2''$ -et tesz ki; ez pedig oly mennyiség, melyért a mérések mai pontosságával alig lehet szavatolni.

A Nap fényessége rendkívül nagy, úgy hogy szabad szemmel bele nem tekinthetünk. Csak napnyugtával lehet ezt némelykor megkoczkáztatni, mikor a Nap már közel van a horizonhoz s sok vízpára van a levegőben, úgy hogy a Nap vörösesbarna korongnak látszik. Számos kísérletet végeztek a Nap fényességének földi fényforrásokkal való összehasonlítása céljából. De ez különös nehézségekkel jár, mert a napfényt erősen gyöngíteni kell. Az első kísérletet BOUGUER végezte 1725-ben. Ő homorú lencsével nagyította a Nap képét s így gyöngítette fényét. Méréseiből kiderült, hogy 82 160 gyertya szolgáltat 1 méter távolságból akkora fényességet, mint a Nap. MÜLLER szerint különböző további kísérletek alapján föltehetjük, hogy a Nap fényessége mintegy 60 000 métergyertya. FIZEAU és FOUCAULT szerint a Nap területi fényessége 146-szor akkora, mint a DRUMMOND-féle mészfényé, LANGLEY szerint 5300-szor akkora, mint a BESSEMER-körtében olvasztott vasé.

A Nap fényét más csillagok fényével is összehasonlították. Az erre vonatkozó eredmények a következők: BOND és ZÖLLNER megfigyelései alapján a Nap fényességének viszonyát a telihold fényességéhez 570 000-nek vehetjük. Itt az összfényességet azonosnak vehetjük a területi fényességgel, mert a Nap és a Hold látszó átmérői közel egyenlők.

ZÖLLNER és MÜLLER a Napot a fényes Capella csillaggal ( $\alpha$  Aurigae) is összehasonlította. ZÖLLNER az összfényességek viszonyát 55 760 milliónyinak találta, MÜLLER 37 165 milliónyinak. Az  $\alpha$  Aurigae parallaxisát ismerjük:  $0.11''$ -et tesz ki; ha a Napot tennők az  $\alpha$  Aurigae helyébe, akkor a Nap csak 6.5-rendű csillagnak látszanék, szabad szemmel tehát nem is láthatnók. Minthogy spektroszkópi vizsgálatokból tudjuk, hogy az  $\alpha$  Aurigae és a Nap összetétele nagyon hasonlít egymáshoz, a fényességek összehasonlításából rögtön következik, hogy az  $\alpha$  Aurigae sokkal



nagyobb, mint a mi Napunk. A fényességek t. i. úgy viszonylanak egymáshoz, mint a korongok területei, tehát úgy, mint az átmérők négyzetei. Az átmérők viszonya ebből annyi, mint 10:1, vagyis az  $\alpha$  Aurigae átmérője 10-szer akkora, mint a Napé. De alig van kétség az iránt, hogy az  $\alpha$  Aurigae úgynevezett spektroszkópi kettős csillag, s így összfényessége két égitesttől származik.

Ha a Napot jó távcsövön át szemléljük, vagy még inkább ha fotografiai képeken (I. tábla) vizsgáljuk, észrevevessük, hogy a Napfelület fényessége korántsem egyenletes, hanem hogy olyannak látszik, mintha világos szemcsék lennének sötétebb alapon elszórva (granuláció). A Napnak ezt a szemcsézett felső rétegét *fotoszférának* nevezzük. Ezen gyakran láthatunk kisebb-nagyobb sötétebb részeket, ú. n. *napfoltokat*. Világosabb, többnyire érszerűen elágazó helyek rendszeren a napperem közelében is mutatkoznak, ezeket *fáklyáknak* nevezzük. Ezekkel a minden további segédeszköz nélkül észlelhető jelenségekkel fogunk most foglalkozni.

*A Nap szemcsézettsége.* A Nap gömbjének külső, közvetlenül látható határrétege a fotoszféra, a fénykibocsátó réteg. Ezt kell tekintenünk ama rétegnek, melyből a Nap mindennemű sugárzása kiindul. A gömb felületéről érintői irányban jövő sugarak következtében ez a réteg idézi elő a látszólagos napkorong teljesen éles határoltságát. A fotoszféra fényessége lényegesen függ a világos szemcséktől, melyek élesen kiválnak az aránylag lényegesen sötétebb, de azért még mindig nagyon fényes alapból. A szemcsézettség legjobban a napkorong közepe táján látható. A perem felé, hol a sugarak kilépése ferdébben történik, a szemcséknek az alaphoz viszonyított fényessége erősen fogy, egyezően a fényességnek a perem felé való általános fogyásával. A szemcsék alakja átlagban kerekded, de a foltok közelében hosszúkas alakú szemcsék is előfordulnak. Átmérőjük  $\frac{1}{3}''$  és  $1''$  között ingadozik. Némely helyütt, különösen a foltok közvetlen környékén, oly sűrűn vannak összeszorulva, hogy a sötétebb háttérrel már alig lehet megkülönböztetni, másutt meg akkora köz választja el őket egymástól, mely nem ritkán nagyobb a szemcséknél.

Távcsövön való közvetetlen megfigyeléssel rendkívül nehéz a szemcsézettséget tanulmányozni, mert a soha meg nem szűnő

levegőnyugtalanság miatt nem lehet az ily kicsiny tárgyakat élesen szemügyre venni. Sokkal alkalmasabbak erre a célra a Nap-fotografiák, a melyeket nyugodtan vizsgálhatunk és mérhetünk. Csakhogy jó Nap-fotografiák készítése fölötté ritkán sikerül. Több száz fölvétel között talán egyetlenegy olyan akad, melynél a levegő állapota annyira kedvező volt, hogy a kép a szemcsézettség megvizsgálására alkalmas. A szemcsék alakváltozásainak megismerésére nagyon fontos lenne, ha rövid, pl. néhány percznyi időközökben készült fölvételek állanának rendelkezésünkre. De úgy látszik, hogy ez eddig még nem sikerült.

A legjobb Nap-fotografiák JANSSEN francia asztrofizikustól származnak. Ezeken a képeken sajátságos jelenséget lehet észrevenni, melyet JANSSEN »fotoszférikus háló«-nak nevezett el. A fotoszféra elrendeződése t. i. nem egyenletes, hanem számos, egymástól többé-kevésbbé elkülönített alakzatra bomlik. Míg az ezen alakok közti területeken a szemcsék ugyan különböző nagyságúak, de azért világosan és élesen határoltak, addig belsejünkben a szemcsék félig eltűntek, elmosódtak és eltorzultak; gyakran teljesen eltűntek és helyükbe sávós képződmények léptek. Az így megbolygatott területeknek határa többé-kevésbbé kikerekítettnek látszik, sokszor meg közel egyenes vonalú, úgy hogy sokszögnek látszanak. Átmérőjük nagyon különböző; gyakran egy ívpercznél is nagyobb.

Míg maga JANSSEN és vele más csillagászok ezt a tüneményt reálisnak, a Nap felületén valóban létezőnek gondolták, addig nekünk úgy látszik, mintha a levegőnyugtalanság sokkal közelebb fekvő magyarázatot szolgáltatna. A Nap peremének hullámos és csipkézett alakja arról tanúskodik, hogy a fotografálás pillanatában a peremen mindenütt torzul a kép. Ennélfogva a kép közepén is kell ily torzulásoknak lenniök, a melyek kis területre szorítkozó torzulásokban nyilvánulnak. A mint már láttuk, a levegő nyugtalansága együttesen idéz elé képtorzulásokat oldalt való eltolódások által, valamint elmosódottságot a gyújtótávolság megváltoztatása által. A fotoszférikus hálón mind a két jelenséget láthatjuk.

A II. tábla JANSSEN egyik fotografiájának mása, melyet a Nap szemcsézettségéről 1881. június 5.-én készített. A fotoszférikus háló rajta nagyon világosan látható.



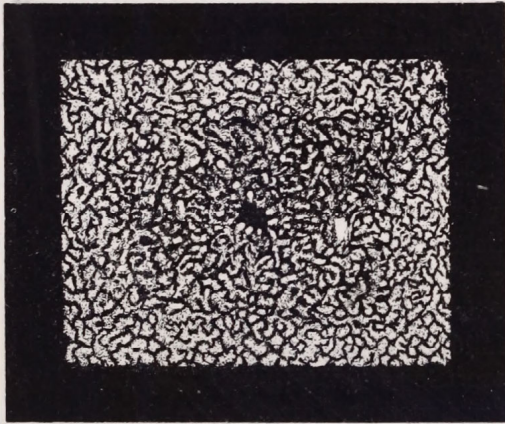
Rendes szemcsézettség mellett gyakran akadunk olyan helyekre, melyeken több szemcse hiányzik s az alap sötét foltocska alakjában ötlük szemünkbe. Az ilyen foltocska fényereje még pontosan egyezik az alap fényességével. De ha az ilyen folt valamivel nagyobb, ha pl. mintegy 5—6 szemcse hiányzik, akkor középben az alap sokkal sötétebbnek, majdnem teljesen feketének látszik. Ilyenféle foltocskát pórús-nak neveznek s tulajdonképpen nem egyéb igen kicsiny napfoltnál.

A *napfoltok*. A napfoltok fejlődésének menete igen különböző. Gyakran rendkívüli gyorsasággal megy végbe. Néhány pórusból alig néhány óra alatt napfolt fejlődik. A folt alakváltozásai is gyakran rendkívül gyorsan mennek végbe, úgy hogy pl. nehéz rajzban visszaadni valamely foltnak alakját, melyet bizonyos időpontban mutat. Itt a fotografiai fölvétel nagyon fontossá válik, mert rövid időközökben a valóságot híven visszatükröző pillanatképeket szolgáltat. CORTIE húsz évi megfigyelések alapján a következő módon ismerteti a napfoltok fejlődésének rendes menetét: Egyes kisebb pórusokból és foltokból két nagyobb folt alakul, a melyek közül az, a melyik elülhalad, többnyire tömörebb és hosszanti irányban gyorsabban mozog. A két folt között lassanként kisebb foltok összeköttetést létesítenek. A kisebb foltok azonban csakhamar eltűnnek s velük együtt eltűnik az utánuk haladó második folt is. Az előre haladott folt alakja ekkor mindinkább kerekébbé válik, de egyszersmind folyton kisebbedik, míg végül ismét csupa kicsiny foltra és pórusra bomlik széjjel, a melyekből azután gyakran új foltalakulás indul ki. A foltok élettartama is nagyon különböző. Némelykor néhány nap alatt folyik le a tűnemény, máskor meg hónapokig is eltart. Ugyanezt a különféleséget tapasztalhatjuk a foltok nagyságában is. A legtöbb pórusból egyáltalán nem lesz folt. Viszont vannak foltok, melyeknek átmérője a Föld átmérőjének többszörösét éri el. A pórusok, valamint a kisebb és közepes nagyságú foltok rendszeren köralakúak. A nagy foltok alakja azonban többnyire rendkívül bonyolult; gyakran nagyobb számú kisebb foltból és pórusokból vannak összetéve.

Minden kifejlődött foltnál kétféle területet lehet megkülönböztetni. Az egyik az úgynevezett mag, a mely a folt középső, egyenletesen sötét része; a másik a magot körülövező perem,

az úgynevezett félárnyék vagy penumbra. Úgy látszik, hogy kisebb pórusoknál hiányzik a penumbra vagy legalább is csak kevésé ötlük szembe. A 128. rajzon egy pórus képe látható. Kis kerek hely ez, a melyen a szemcsézettség világos szemcséi hiányzanak s a melynél az aránylag még mindig eléggé világos szemcsés háttér helyébe lényegesen sötétebb alap lép.

A III. tábla JANSSEN egyik fotografiai fölvételének mása, mely 1885. június 22-én készült. Ezen felismerhetjük az összes részleteket, melyek a napfoltok jelenségét kísérik, különösen pedig láthatjuk összefüggésüket a szemcsézettséggel. A folt közvetlen közelében a szemcsézettség sűrűsége különbözik a távolabbi környezet sűrűségétől. Úgy látszik, hogy a szemcsék nagyobbak s sűrűbben szorulnak össze, úgy hogy helyenként a szemcsézettség alig ismerhető föl; a sötét alap majdnem teljesen eltűnt. Az átmenet



128. rajz.

a fotoszférának e rendkívül fényes részéből a penumbrába egészen hirtelen megy végbe. Az alap erősen sötét, a szemcsék alakja részben hosszúkássá válik s láncszerűen csoportosulnak koncentrikus irányú sugarakká, a melyek között aránylag nagy közöket találhatunk. Ezeknek a sugaraknak éppen oly hirtelenül vége szakad, mint a minő hirtelen keletkeznek s azután már csak az egyenletesen sötét mag következik. A folt magja látszat szerint teljesen sötét vagy fekete. De a valóságban fényessége még mindig igen tetemes, habár a körülötte levő fotoszférával való kontrasztja nagyon erős. Ez akkor látható a legjobban, a mikor a belső bolygók egyike, a Vénus vagy a Merkúr vonul el a napkorong előtt. A bolygónak felénk néző korongja magában véve abszolút fekete, látszólagos fényessége azonban a megvilágított földi légkör fényességével



egyenlő, mert hiszen ez terül el köztünk és ama bolygó között. Tehát már a bolygó korongjának látszólagos fényessége igen jelentékeny. S mégis ezzel szemben a napfolt magja tetemesen fényesebbnek látszik, a melynek fényességéhez szintén hozzájárul a légkör fényessége. A mag- és a fotoszférafényesség viszonyára vonatkozó nagyszámú becslések egymástól erősen eltérnek;  $1/10$  és  $1/50$  között ingadoznak. A mag és a fotoszféra össz sugárzásának viszonyára vonatkozó mérések mind lényegesen kisebb értékekre vezetnek, melyek  $1/2$  és  $1/3$  közé esnek. Ez az eredmény teljes összhangban van azzal a később megállapítandó ténnyel, hogy a Nap légkörében észlelhető általános fényelnyelések a kisebbedő hullámhosszúsággal növekszenek. Penumbra és fotoszféra viszonylagos fényességét meghatározni azért nem nagyon érdemes, mert a penumbra igen fényes és igen sötét különálló sávokból van összetéve.

A III. táblán ábrázolt napfolt két részből áll, a melyek közül a felső némileg kör alakú, nagyobb fajta napfolt típusát mutatja. Belsejében majdnem egyenletes fényességű, erősen elágazó világos képződmény tűnik szembe; de ezen még felismerhető a szemcsézettség nyoma. Az ilyen áthidalásszerű alakzatok nagyobb foltokon gyakoriak. Az alsó rész kisebb foltok és pórusok rendszertelen összevisszaságát tárja elénk. Ilyféle képződmények gyakran figyelhetők meg, midőn valamely folt keletkezőben vagy eltűnőben van, de némelykor továbbfejlődés nélkül is hosszabb időn át megmaradnak.

A foltképződés a Nap felületének nem minden részében megy végbe, hanem főleg két sávra szorítkozik, a Nap egyenlítőjétől északra és délre  $10^\circ$  és  $30^\circ$  heliocentrikus szélesség között. E zónákon kívül ritka jelenség a napfolt és  $50^\circ$ -nál magasabb szélességben talán még egyáltalán nem észleltek foltot.

Különösen érdekes a napfoltok mozgása. Erről ugyan számos megfigyelésünk van, de eddig még senki sem tárgyalta kimerítően a jelenséget. A foltok rendszeren az egyenlítővel párhuzamos körök mentén mozognak keletről nyugat felé. Ha nem a napfelület látható részén keletkeznek, akkor a napkorong keleti peremén tűnnek fel s a nyugati peremen ismét eltűnnek. Nagyobb foltokon némelykor ez a jelenség kétszer, sőt többször is ismétlődik. E mozgások mikéntjéből azonnal kiderül, hogy ez az egész nap-

gömb forgásának következménye, mely a Földre vonatkozólag mintegy 27 napig látszik tartani, míg a sziderikus forgás tartama valójában csak mintegy 25 napot tesz ki. Az egyes foltok mozgásában azonban tetemes különbségek mutatkoznak. Ezek ugyan részben észlelési hibákra vezethetők vissza, mert az erős alakváltozások meglehetősen bizonytalanságot vonnak maguk után arra a pontra vonatkozólag, melynek mozgását követni akarjuk, pl. a folt középpontját avagy súlypontját. A mozgásban mutatkozó különbségek nagy részét azonban reálisnak kell tekintenünk, mert a foltok gyakran változtatják helyüket szélességben és hosszúságban egyaránt. A szélesség irányában haladó mozgásról még meglehetősen keveset tudunk. Határozott törvényszerűségeket eddig még nem sikerült kimutatni. A változások általában kicsinyek, de tudunk példát tetemesebb szélességváltozásokra is. Így BIANCHI 1866-ban a Napnak öt forgásperiodusán keresztül figyelt egy foltot, mely ezen idő alatt  $6^{\circ} 26'$  heliocentrikus szélességből  $14^{\circ} 57'$  szélességbe vándorolt. SECCHI ebből kiszámította, hogy e foltnál a szélességváltozás sebessége 800 km-t tett ki naponként.

A hosszúság mentén való mozgásban is vannak szabálytalanságok. Így pl. SECCHI szerint a foltok alakváltozásai többnyire együtt járnak a foltok hirtelen előrevándorlásával a forgás irányában. De az eltérések ellenére, mégis meg lehetett állapítani azt a biztos tényt, hogy a foltok forgássebessége nem állandó, hanem, hogy szembetűnően függ a heliocentrikus szélességtől, még pedig oly értelemben, hogy a forgás tartama együtt nő az északi vagy déli szélességgel. Ez az eredmény azért különösen fontos, mert kitűnik belőle, hogy a fotoszférának ama részei, a melyekben a foltok előfordulnak, nem forognak mint valami szilárd egész, pl. mint a Föld. Ezért aztán a fotoszférát nem is szabad úgy képzelnünk, mintha a Napnak valami szilárd határrétege lenne. Nem ismerjük még azt az elméleti törvényt, mely szerint a növekvő szélességgel való forgáslassabbodás végbemegy. Eddig oly tapasztalati képletekkel kellett megelégednünk, melyek a megfigyelésekkel lehetőleg jó összhangzásban vannak. A következő négy interpolációs képlet szerzői ismert nap-kutatók:



1. CARRINGTON :  $\xi = 14^{\circ} 15' - 2^{\circ} 45' \times \sin \frac{7}{4} b$ .  
 2. FAYE :  $\xi = 14^{\circ} 12' - 3^{\circ} 6' \times \sin^2 b$   
 3. SPÖRER :  $\xi = 8^{\circ} 548' + 5^{\circ} 798 \times \cos b$ .  
 4. ZÖLLNER :  $\xi = \frac{14^{\circ} 23'8' - 10^{\circ} 22'2' \times \sin^2 b}{\cos b}$ .

A fenti képletekben  $\xi$  jelenti a Napnak naponkénti forgásszögét és  $b$  jelenti a héliocentrikus szélességet. Annak megítélésére, hogy e képletek szerint miként alakul a Nap forgása, elégséges lesz két szélső esetet szemügyre vennünk, t. i. az egyenlítőt és a  $60^{\circ}$  szélességet. A négy képlet alapján a  $\xi$ -nek következő értékeit kapjuk:

	Egyenlítő	$60^{\circ}$ szélesség
1. CARRINGTON	$14^{\circ} 15'$	$12^{\circ} 7'$
2. FAYE	$14^{\circ} 12'$	$11^{\circ} 52'$
3. SPÖRER	$14^{\circ} 21'$	$11^{\circ} 27'$
4. ZÖLLNER	$14^{\circ} 24'$	$13^{\circ} 12'$

A  $\xi$  egyenlítői értékei jól egyeznek, ellenben  $60^{\circ}$  szélességben már tetemesen különböznek. A különbségek mekkorasága legjobban a következő összeállításból tűnik ki, mely a  $\xi$ -ből kiszámított forgásidőket tünteti fel a Nap egyenlítője és a  $60^{\circ}$  szélesség számára:

	A forgás tartama					
	az egyenlítőn			$60^{\circ}$ szélességben		
	nap	óra	percz	nap	óra	percz
1. CARRINGTON	25	6	14	29	16	48
2. FAYE	25	8	24	30	7	55
3. SPÖRER	25	2	10	31	10	48
4. ZÖLLNER	25	0	0	27	6	28

Míg a forgás tartamában a négy képlet szerint mutatkozó legnagyobb különbség az egyenlítőn csak 8 órát tesz ki, addig  $60^{\circ}$  szélességben 4 napra és 4 órára terjed.

E szerint biztos, hogy a forgás a növekvő szélességgel lassul, csak hogy a felt-megfigyelések alapján a lassulás nagysága még meglehetősen bizonytalan. Ez nagyobbára onnét van, hogy

itt rendkívül bonyolult tünetekkel van dolgunk, melyeknek megfigyeltése belátható időn belül alig lesz lehetséges. Olyanfélék ezek, mint a mi légkörünk meteorológiai jelenségei, melyeknek általános törvényszerűségeit ismerjük ugyan, de egyes esetekben gyakran nagy eltérések mutatkoznak a közepes menettől. Ha képleteinkből ki akarnók számítani a Nap forgásidejét a sarkokon, akkor még sokkal nagyobb különbségekre bukannánk. A ZÖLLNER-féle képlet ebben az esetben egyáltalában nem válik be, mert a sarkokon  $\cos b$  zérussal egyenlő s ennél fogva  $\xi$  értéke végtelen nagygyá lesz.

A napfoltok száma is éppen úgy, mint nagyságuk, rendkívül változó. Vannak idők, mikor napok hosszat a legcsekélyebb foltot sem lehet észrevenni a Napon, míg máskor meg egész éven át sohasem folthíjas a Nap. Már régen felismerték, hogy ebben a változásban van valami időszakosság, bár az egyes periodusok nem voltak pontosan egyenlők. A napfoltok periodusát különböző úton határozhatjuk meg. Leghelyesebb talán az lenne, ha naponként megmérnők, hogy mekkora területet foglalnak el a napfoltok s ha a jelenség maximumának azt az időpontot tekintenők, mikor ez a terület a legnagyobb s minimumának a legkisebb terület időpontját vennők. De ez az eljárás nagyon időrabló és körülményes lenne. Azonkívül nem is alkalmazták régebbi időkben, melyeknek megfigyeléseit mégis czélszerű figyelembe venni a periodus meghatározásánál. Többnyire csak a napfoltok számát jegyezték fel. De nyilvánvalóan nem helyes, ha csupán csak azt a számot használjuk a maximum és minimum megállapításához, mert nagy folt határozottan nagyobb fotoszférabeli tevékenységről tanúskodik, mint kicsiny folt. Az is kérdés, hogy egyes foltoknak kell-e számítanunk az olyan foltcsoportot, aminőt pl. a III. tábla alsó részében láthatunk, vagy pedig hogy a benne foglalt foltok számát kell-e megadnunk. WOLF zürichi csillagász, ki évek során át folytatott terjedelmes kutatásaival a legnagyobb érdemeket szerezte a napfolt-kutatás terén, ezt a nehézséget az úgynevezett relatív számokkal igyekezett kikerülni. Ő naponként megszámlálta a foltcsoportokat és a bennük levő egyes foltokat. Minthogy új foltterület keletkezése a fotoszféra tevékenységének nagyobb növekedéséről tanúskodik, mint valamely új folt keletkezése a már meglevő csoportban, azért a csoportszámnak tetemesen nagyobb, t. i. tízszer akkora súlyt tulajdonított, mint a foltszámnak. Ha az észlelt



csoportok számát  $g$ -vel, az egyes foltok számát  $f$ -fel jelöljük, akkor WOLF szerint a foltgyakoriság mértékszáma  $r$ , és  $r = 10g + f$ .

Az ekként kapott viszonylagos szám azonban csak valamely határozott észlelő s határozott távcső számára tekinthető egységes mértéknek, mert a kisebb foltok láthatósága függ a megfigyelőtől és a távcsőtől. Ha pl. a III. táblán levő foltcsoportot tekintjük, akkor különböző nagyságú távcsövekkel dolgozó két megfigyelő közül az egyik mindenegyes foltot külön fog számításba venni, míg a másik csoportrészeket fog foltnak tekinteni. Az egyik könnyen jut el 60–80 foltig, a másik pedig talán 10–12-ig. Valamely harmadik megfigyelő, kinek kisebbszerű távcsövében az egyes kisebb foltok már nem is látszanak külön, talán csak 5 vagy 6 egyes foltot fog megkülönböztetni. Ahhoz tehát, hogy a különböző megfigyelők számadatait egységes anyaggá formálhassuk, a viszonylagos számoknak különböző súlyokat kell tulajdonítanunk.

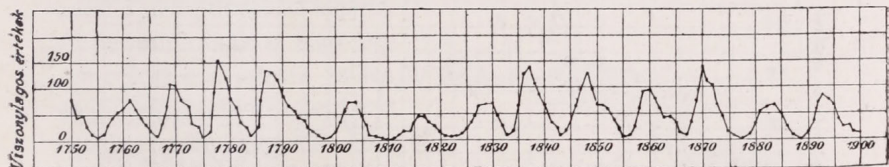
WOLF felhasználta a foltokra vonatkozó számadatokat visszamenőleg egészen a XVII-ik század elejéig s belőlük levezette a következő összeállításban foglalt évszámokat a maximumok és minimumok számára. Az egymás után következő két évszám közti különbség megadja a megfelelő periodus tartamát.

Mini- mumok év	Perio- dus	Maxi- mumok év	Perio- dus	Mini- mumok év	Perio- dus	Maxi- mumok év	Perio- dus
1610·8		1615·5		1745·0		1750·3	
1619·0	8·2	1626·0	10·5	1755·2	10·2	1761·5	11·2
1634·0	15·0	1639·5	13·5	1766·5	11·3	1769·7	8·2
1645·0	11·0	1649·0	9·5	1775·5	9·0	1778·4	8·7
1655·0	10·0	1660·0	11·0	1784·7	9·2	1788·1	9·7
1666·0	11·0	1675·0	15·0	1798·3	13·6	1804·2	16·1
1679·5	13·5	1685·0	10·0	1810·6	12·3	1816·4	12·2
1689·5	10·0	1693·0	8·0	1823·3	12·7	1829·9	13·5
1698·9	9·4	1705·5	12·5	1833·9	10·6	1837·2	7·3
1712·0	13·1	1718·2	12·7	1843·5	9·6	1848·1	10·9
1723·5	11·5	1727·5	9·3	1856·0	12·5	1860·1	12·0
1734·0	10·5	1738·7	11·2	1867·2	11·2	1870·6	10·5
	11·0		11·6	1878·9	11·7	1883·9	13·3

A napfolt-periodus közepes hosszát WOLF 11·12 évnnyinek találta. Azonban az egyes periodusoknak eltérései ettől a középértéktől oly nagyok, hogy nem magyarázhatók egyedül a megfigyelés hibáival. Inkább azt kell föltennünk, hogy a periodusok tartama valóban erősen eltérhet a középértéktől.

Ha kiszámítjuk azt az időt, mely valamely minimumtól a következő maximumig eltelik, középértékül 5·16 évet kapunk, míg a maximumtól a rákövetkező minimumig terjedő idő középben 5·96 évet tesz ki. A foltgyakoriság növekedése a minimumtól kezdődőleg tehát sokkal gyorsabban megy végbe, mint a csökkenés a maximumtól kezdve.

A 129. rajz a foltgyakoriság görbáját szemlélteti 1750-től 1900-ig WOLF-nak és utódjának WOLFER-nek közepes relatív-

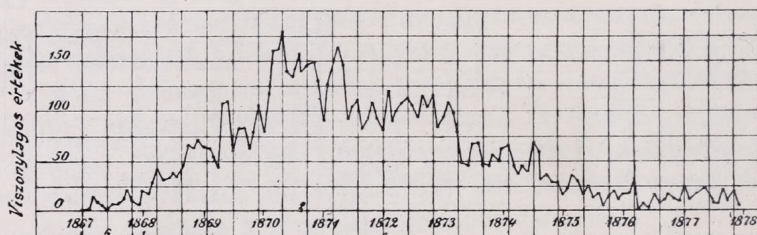


129. rajz.

számai alapján. A 11 éves periodus itt a legszembeötlőbb módon mutatkozik. Éppen úgy jól felismerhető a hirtelenebb emelkedés a maximum felé és a lanyhább esés a maximum után. A görbe egyes pontjaihoz tartozó magasságok mutatják az évi relatív-számot. Míg ezek a relatívszámok a minimumoknál mind jól egyeznek és közel nullával egyenlők, addig a maximumnál erősen eltérnek egymástól. Feltűnőek az 1769. és 1787. közti erős maximumok, valamint az 1837. és 1870. közöttiek, ellentétben a közbeeső és utóbb következő alacsony maximumokkal. Ezért föl-tet-tek, hogy nem csupán egyetlen 11 éves periodussal van dolgunk, hanem több különböző periodus tevődik össze. WOLF vizsgálatai szerint a 11 éves perioduson kívül még két másik periodus van, melyek közül az egyik 10, a másik  $8\frac{1}{3}$  éves. Ezekkel aztán meg lehetne magyarázni úgy a maximumoknak, mint a periodusok időtartamának nagy ingadozásait. De az eddig rendelkezésünkre álló 150 évnyi időköz még nem elég arra, hogy a 11 éves perio-duson kívül még más periodust is biztonsággal megállapíthassunk.



A napi relatívszámok természetesen erős ingadozásokat mutatnak; ezeknek főokául a Nap forgását kell tekintenünk, mely-lyel a foltok és foltcsoportok hirtelen fel- és eltűnése jár. De még a havi relatívszámoknál is tapasztalunk erős ingadozásokat, pedig ezeknél a tisztára véletlen hatásokat már kiküszöböltük. Ezt a 130. rajzon láthatjuk, mely a foltgyakoriságot az 1867-től 1878-ig terjedő periodus számára havi relatívszámok szerint rajzolt görbé-vel ábrázolja. Ezt az időközt azért választottuk példának, mert egyikét tartalmazza az eddig megfigyelt legnagyobb maximumok-nak. Némelyek észrevették, hogy a havi relatívszámokban mutat-kozó ingadozások sokkal erősebbek a maximumok, mint a mini-mumok idején, miként ezt a 130. rajzon is láthatjuk. De ebből



130. rajz.

további következtetéseket nem igen vonhatunk, a mennyiben ez a jelenség egészen természetes, ha a görbe teljes emelkedésének százalékáiban kifejezve az ingadozások ugyanazok. WOLF azt gondolja, hogy ezekből a külön ingadozásokból  $7\frac{1}{2}$  hónapos periodust tud levezetni ezen ingadozások számára.

Bár a foltok megjelenése a jelzett zónákra szorítkozik, azért eloszlásuk e zónákon belül mégsem állandó, hanem felismer-hető, hogy a 11 éves perioduson belül a szélesség nyilván-való összefüggésben áll az idővel. Mikor a minimum elmúlása után a foltok gyakorisága nagyobbodik, a foltok főleg a maga-sabb szélességekben jelentkeznek. A periodus további folya-mán mindinkább a kisebb szélességekben látjuk őket feltűnni egészen a minimum idejéig, azután pedig a maximum felé való emelkedéskor ismét a magasabb szélességekben találkozunk velük gyakrabban.

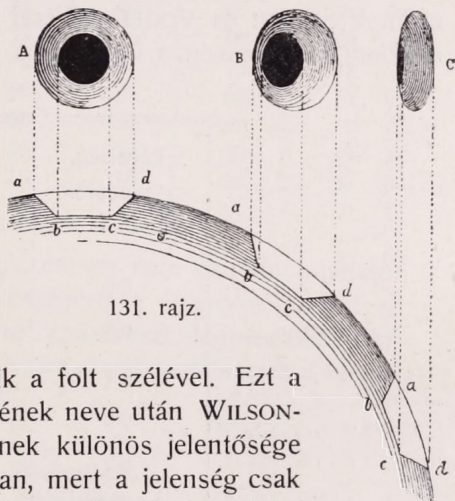
Ezek azok a fontosabb és némileg biztos eredmények, a

melyeket a napfoltok statisztikája a foltok periodusos voltáról és gyakoriságáról szolgáltatott.

Még egy jelenségre kell felhívunk a figyelmet, mely jelenség a Nap forgásával áll összefüggésben. Ha valamely folt közel van a Nap pereméhez, felülete erősen ferde helyzetet foglal el a látóvonalhoz képest. Ennélfogva ez a folt szükségképpen perspektívás eltorzulást szenved oly értelemben, hogy a közel köralakú folt ellipszis-alakúvá lesz, melynek kis tengelye a peremre merőleges, nagy tengelye pedig ezzel párhuzamos. A valóságban ez csakugyan így is van. De gyakran az a további jelenség járul még hozzá, hogy az eltorzult mag többé már nem foglal el szimmetriás helyzetet a penumbrához képest. A penumbrának a Nap pereme felé eső oldala széles és jól felismerhető, ellenkező oldala pedig nagyon keskeny, vagy egyáltalán teljesen eltűnt szemünk előtt,

úgy hogy itt a mag érintkezik a folt szélével. Ezt a sajátzerű jelenséget felfedezőjének neve után WILSON-féle jelenségnek nevezték. Ennek különös jelentősége van a napfoltok magyarázatában, mert a jelenség csak akkor jöhet létre, ha a napfoltok mélyedések a fotoszférában, úgy hogy a penumbra a folt magasabb szélétől a mélyebben fekvő mag felé lejtőszerűen esik, mint valami tölcsernek a fala. A 131. rajz minden szónál jobban bizonyítja e magyarázat helyességét.

Azonban nem valamennyi folt mutatja ezt a WILSON-féle jelenséget legalább is kifejezett mértékben. Ebből azt kell következtetnünk, hogy a mag mélyebb fekvése nem elengedhetlenül szükséges. Azt a föltevést is megkoczkáztatták, hogy a foltok ugyan mélyedések a fotoszférában, de az egész képződménynek a fotoszférában valami magasabb fekvése van. Egyébiránt a foltok külső alakját a napperem közelében s különösen az ettől való látszólagos távolságukat nagy mértékben módosítja a Nap lég-





körében levő sugártörés, mely teljesen úgy hat, mint a mi földi légkörünk sugártörése.

*A fényesség csökkenése a napkorong közepétől a széle felé.* A már említett fényességsökkenés távcsövön át vagy napfotografián igen világosan látható. Eleinte ez a csökkenés nagyon lassan megy végbe, de a napkorong sugarának utolsó negyed- vagy ötödrészeiben föltűnően emelkedik s egyszersmind a Nap barnás színezetet ölt. E fénycsökkenésre vonatkozólag számos fotometriai mérésünk van, de közülök csak kevés tarthat igényt a kellő pontosságra. A következő összeállításban feltüntetett százalékszámok SECCHI és VOGEL mérései alapján mutatják, hogy miként csökken a fényesség a középtől a perem felé.

Távolság a középtől	Fényesség
0·0	100
0·2	99
0·4	98
0·6	94
0·7	89
0·8	82
0·9	69
1·0	40

A fenti adatokól nagyon világosan látható a fényességnek a peremen való aránylag erősebb csökkenése. Nagyon érdekesek VOGEL spektrofotometriai mérései, melyek a színek különböző részeire terjednek s azt adták eredményül, hogy a fényességsökkenés nagyobb a kicsiny hullámhosszúságok, tehát a kék és ibolya sugarak számára, mint a vörös sugarak számára. Ez megmagyarázza a barnás színezetet. (V. ö. a következő táblázatos összeállítást.)

Távolság a Nap közepétől	Ibolya $\lambda$ 4090	Kék $\lambda$ 4430	Zöld $\lambda$ 4700	Sárga $\lambda$ 5130	Narancs $\lambda$ 5790	Vörös $\lambda$ 6620
0·0	100	100	100	100	100	100
0·1	100	100	100	100	100	100
0·2	99	99	99	99	99	100
0·3	96	97	97	97	98	99
0·4	93	94	95	94	97	98
0·5	89	90	91	91	95	97
0·6	82	85	87	86	91	95
0·7	74	78	81	80	85	91
0·75	69	73	77	76	80	88
0·8	64	67	72	71	75	84
0·85	57	60	66	65	68	79
0·9	48	50	58	57	59	71
0·95	35	35	46	44	46	58
1·00	13	14	16	16	25	30

Az intenzitás-csökkenés természetesen nem csupán a látható sugarakra, hanem a sugarak összességére is érvényes, a mint ez hőmérésekkel igazolható. Az erre vonatkozó legmegbízhatóbb eredményeket FROST érte el; az ő számadatait tartalmazza a következő kis összeállítás:

Távolság a középtől	Hősugárzás intenzitása
0·0	100
0·1	100
0·2	99
0·3	98
0·4	97
0·5	95
0·6	92
0·7	88
0·8	81
0·9	66
1·0	(39)

Ha összehasonlítjuk a két utolsó táblázatot, akkor a  $\lambda$  5790 és  $\lambda$  6620 hullámhosszúságoknál meglehetősen kielégítő meg-



egyeződést találunk a thermikus és az optikai méréseredmények között.

Egyes megfigyelők azt az állítást kockáztatták meg, hogy az intenzitás csökkenése más az északi és más a déli félgömbön. Megbízhatóbb mérések alapján azonban úgy látszik, hogy ilyenféle észrevehető különbség nincsen.

Bár a Napon észlelhető tűnemények magyarázatával csak később fogunk foglalkozni, azért az intenzitáscsökkenés, a mint a napkorongon mutatkozik, mégis már itt követel magyarázatot, hogy megérthessük a napfáklyákat. Kétféle magyarázat lehetséges. Vagy az a tulajdonsága van a Nap sugárzó felső rétegének, a fotoszférának, hogy a sugarak ferde kilépésénél a felületi fényesség csökken, vagy pedig a Napnak a fotoszféra feletti légkörében sugárzás-elnyelés történik. Az első magyarázat magában véve kevésbé valószínű. Ugyanis a LAMBERT-LOMMELE-féle alaptörvény szerint a sugárzás az emanációs szög cosinusától függ, ennek alapján a közepétől a pereméig világító gömbnek egyenlő fényességűnek kell lennie. Sőt az EULER-féle törvény szerint a fényességnek a perem felé *növekednie* kellene. Ellenben fényelnyelő nap-légkör teljesen megmagyarázná a jelenséget, mert a peremhez közelebb eső pontokról érkező sugaraknak a légkörön át sokkal nagyobb utat kell megtenniök, mint a középről kiindulóknak. De mindenekelőtt nem válna be az első magyarázat, ha a sugárzáscsökkenés különbségeire vagyunk tekintettel a különböző hullámhosszúságoknál. Ellenben fényelnyelés föltevése itt közvetlenül alkalmas magyarázatot szolgáltat.

A *napfáklyák*. A napfáklyákat sok tekintetben a fotoszféra oly alakulatainak tekinthetjük, melyek homlokegyenest ellenkezőképpen viselkednek, mint a foltok. Fényes, érszerűen elágazó képződmények ezek, melyek a Nap felületének minden részén, különösen pedig a foltok övében fordulnak elő. A foltok mindig körül vannak véve tőlük, mint valami sáncztól, melynek minden irányban hernyószerű nyulványai vannak. A fáklyák azonban elkülönített csoportokban is jelentkeznek olyan helyeken, hol a foltképződés legcsekélyebb jele sem mutatkozik. Habár mindenütt jelen vannak a fáklyák, azért távcsőben vagy a nap-fotografiákon csak a nap-perem közelében láthatók, tehát oly távolságban a korong közepétől, hol a fényességcsökkenés már eléggé

jelentékeny. A fáklyák egészen közel a peremig követhetők. Sőt egyes esetekben biztosan mint kiemelkedések voltak láthatók a peremen, mely ilyenkor ezeken a helyeken csipkézettnek látszik s rajta némelykor éles bevágások és horpadások észlelhetők.

E szerint a fáklyákat, ellentétben a mélyebben fekvő foltokkal, oly képződményeknek kell tekintenünk, melyek a fotoszféra általános szintjáján felülemelkednek, a miből azután természetes magyarázata következik annak, hogy csak a Nap peremén láthatók.

De a láthatóságnak ez a korlátozottsága nagyon hátrányos volt a fáklyák tanulmányozására, a mennyiben csak néhány napon át figyelhetők meg s azért azonosságuk megállapítása, ha az ellenkező oldali peremen újból megjelennek, természetsszerűen felette bizonytalanná válik. Alakjukban és megjelenésükben gyakran gyors változások mennek végbe, a mi igen megnehezíti egyes határozott pontok célbantartását. A foltokat közvetlenül körülvevő nagy fáklyacsoportok természetesen résztvesznek a foltok mozgásában. A különálló fáklyák mozgásával még egyáltalán nem vagyunk teljesen tisztában, mert a különböző megfigyelők eredményei részben egyenesen ellentmondanak egymásnak, a minek oka bizonyára a korlátozott láthatósággal összefüggő módszerekben rejlik. A valószínűség általában a mellett szól, hogy a fáklyáknak a foltokhoz hasonló mozgásuk van, mert miként alább látni fogjuk, az egész fotoszféra követi azt a forgástörvényt, mely a foltok mozgásából következik. Egyébiránt, ha a folt- és fáklyaképződés oka a Nap belsejében rejlik, akkor eltérések ettől az általános forgástörvénytől egyáltalán nem valószínűtlenek, mert hiszen a Nap belsejében egészen más forgástörvény uralkodhatik, mint a fotoszférában.

Miként alább látni fogjuk, jelenleg olyan különös spektroszkópi módszerünk van, melynek segítségével képesek vagyunk a napkorong bármely helyén megfigyelni a fáklyákat, illetve oly képződményeket, melyek alakra és helyzetre nézve közvetlenül csatlakoznak a fáklyákhoz. Ugyanott ismertetni fogjuk azokat az eredményeket, melyeket a fáklyák mozgására vonatkozólag megállapítottak.

Nagyon érdekesek WOLFER-nek a fáklyacsoportok állandóságára vonatkozó eredményei. Elsősorban kiderült, hogy az 1887-től 1889-ig terjedő időközben, tehát napfolt-minimum alatt



az összes fáklyacsoportok mintegy  $20^0$ -nyira északra és  $20^0$ -nyira délre terjedő egyenlítői övben jelentek meg. Csak 1889. közepe táján, mikor a foltmaximum felé emelkedés kezdődött, jelentek meg egyes foltcsoportok magasabb szélességekben is. A fáklyák tehát ebben a tekintetben pontosan a foltokhoz hasonlóan viselkedtek. Kiderült továbbá az is, hogy a jelzett időközben megjelent fáklyák a Nap két, diametriálisan ellentett pontján gyűltek össze. Mindenegybes csoport mintegy  $120^0$  heliocentrikus hosszúságú tért töltött be, úgy hogy az őket elválasztó közök  $60^0$ — $60^0$ -ot tettek ki. WOLFER ehhez megjegyzi, hogy a fáklyáknak ezen fő keletkezési középpontjai három éven át csak kevésbé változó erősségekben maradtak meg s hogy az egyidejűleg megjelenő foltok száma oly csekély volt, hogy belőlük valami rendszeres eloszlást nem lehetett volna megállapítani. Ez a körülmény újból arra utal, hogy a fáklyák megfigyelése alapján sokkal világosabb és teljesebb képet kaphatunk a Nap tevékenységéről, mintha csak egyedül a foltokat figyelnök meg.

Azokról a tűneményekről, a melyek akkor mutatkoznak, mikor foltok vagy fáklyák pontosan a Nap peremén vannak, a következőket kell megemlítenünk: SECCHI sokszor megfigyelte, hogy mihelyt valamely folt a Nap peremén van, akkor ott horpadás keletkezik; ő ezt a megfigyelését a WILSON-féle elmélet helyességének bizonyítékául tekintette. Napfotografiákon is igen gyakran mutatkozik ez a jelenség. De könnyen belátható, hogy e tűnemény nem reális, hanem hogy optikai úton jön létre. A szét-szórt napfény intenzitása a peremen, a Nap korongján kívül, csak keveset különbözik a foltmag fényének intenzitásától; ezért mihelyt néhány másodpercnyire közeledtek egymáshoz, folt és perem egybefolynak s így a peremen látszólagos hiány keletkezik. Ellenben reális nap-peremváltozások keletkeznek akkor, mikor ott nagyobb fáklyacsoportok tartózkodnak. Nap-fotografiákon majdnem minden ilyen csoport csipkézettebbnek tűnteti fel a peremet, mint a milyen csipkézett egyéb pontokon a levegőnyugtalanság következtében. Lehetséges, hogy ez a jelenség sokszor szintén csak optikailag jön létre, fordítva, mint a foltoknál. De az utóbbiak némelykor mégis világosan a peremen túlterjednek s egymásközött látszólagos mélyedéseket idéznek elő. Némelykor emellett igen erős mélyedések keletkeznek a peremen,

melyeknek mélysége több másodpercet tesz ki s a melyeknek valós voltában nem kételkedhetünk. SCHEINER 1889. augusztus 8.-án rövid időközben egymásután két fölvételt készített a Napról, melyek mindegyikén egyformán egy igen erős mélyedés látható. Ehhez még a következőket kell megjegyeznünk. Ha a napfelületnek valamely közel szimmetriás mélyedése a peremhez közeledik, akkor a legkedvezőbb esetben is csak a Nap felé egyenes vonallal határolt bevágás mutatkozhatik. A fáklyák környékén megjelenő mélyedések azonban többé-kevésbbé tölcséralakú bevágások képét mutatják, melyek valóságos mélyedéseknél csak akkor keletkezhetnek, ha szakadékszerű alakjuk van, melynek hossz-tengelye a látóvonalba esik.

A Napnak eddig említett jelenségeiről a következő *spektroszkópi eredményeink* vannak:

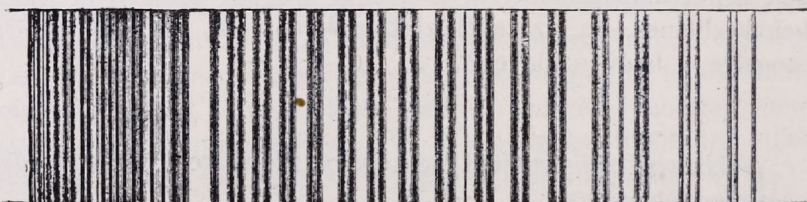
*Az általános napszínkép.* Az általános napszínképet, melyet akkor kapunk, ha a spektroszkópot közvetlenül a Napra irányítjuk, lényegében a fotoszféra színképének tekinthetjük. Ez a színkép akkor észlelhető, ha a *normális* fotoszféra valamely helyét távcsövön át vetítjük a spektroszkóp részére.

A látható napszínkép körülbelül a  $\lambda$  4000 hullámhossztól  $\lambda$  8000 hullámhosszig terjed s így egy oktávát ölel föl. A határok nem adhatók meg pontosan, mert ebben a tekintetben a szemek különbözők s azonkívül az abszolút fényességnek is szerepe van. A fény erős koncentrációja által ezeket a határokat tágítani lehet, különösen az ibolyaszínben. A színképben számtalan színárnyalat van jelen. A gyakorlatban a kis hullámoktól kezdődőleg a következő színeket szokás megkülönböztetni: ibolyaszín, kék, zöld, sárga, narancsszín, vörös. Az alapján folytonos színképet nagyszámú sötét elnyelési vonal szakítja meg, melyek különösen a kékben és az ibolyaszínben sűrűbbek. E vonalak száma nem állapítható meg pontosan, mert annál több, finomabb és gyengébb vonal jelenik meg, mennél erősebb a spektroszkóp diszperziója s mennél szűkebbre szabható a rés. FRAUNHOFER már néhány száz vonalat tudott felismerni. Közülök a legerősebbeket a vöröstől kezdődőleg az ábéczé nagy betűivel jelölte. A máig ismeretes legtökéletesebb színképet ROWLAND állította elő fotografiai úton,

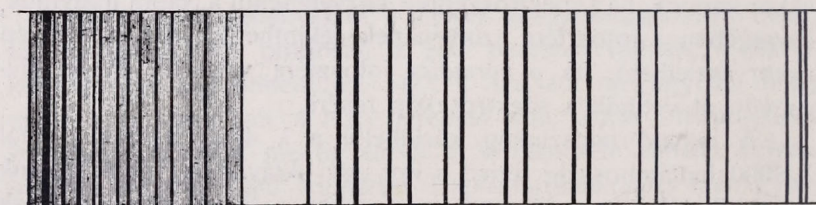


konkáv rács segítségével. A színekép hossza az ibolyántúli részt is beleszámítva, mintegy 10 méter s a vonalak száma 5000-nél is több. E vonalak közül számosat ROWLAND mért meg nagy gondnal. A ROWLAND-féle katalógus e vonalak nagyon pontos hullámhosszát tartalmazza, úgy hogy ezek minden további spektroszkópi mérésnél alapul szolgálhatnak.

A kicsiny spektroszkópban látható napszínekp annyira ismeretes, hogy leírását bízvást elhagyhatjuk. De hogy erősebb segéd-



A) csoport.



B) csoport.

132. rajz.

eszközökkel hol és mit érhetünk el, azt a 132. rajzból láthatjuk. A szélső vörösben fekvő *A* és *B* FRAUNHOFER-féle vonalak rendszeren olyan vonalnak látszanak, melyeknek egyik oldala kissé elmosódott. Erős szórás mellett a 132. rajzban feltüntetett vonalcsoportokra bomlanak széjjel, melyeknél szembetűnő a vonalak elhelyezkedésének törvényszerűsége, a miről már a 205. lapon volt szó.

A napszínekp fentjelzett határai mindkét irányban tetemesen tágíthatók. Ez legegyszerűbben az ibolyántúli részben érhető el, a mennyiben a közönséges fotografus-lemezek igen érzékenyek a kicsiny hullámhosszúságú sugarak iránt. Az, hogy az ibolyántúli részben mely határig juthatunk el, első sorban azoktól az optikai

közegektől függ, a melyeken a sugárzásnak át kell haladnia. Távcsovi objektívek és üvegprizmák használata mellett a térnyereség nem valami nagy, mert az üveg az ibolyántúli sugarak számára átlátszatlan. Sokkal többet érünk el oly műszerekkel, a melyeknél hegyi kristály helyettesíti az üveget. De a legelőnyösebb, ha a fénytörő optikai közegeket teljesen kiküszöböljük s a kép előállítására csupán homorú tükröket s a fényszórás céljaira csupán rácsot használunk.

De még ezen feltételek mellett is határt szab az ibolyántúli színek láthatóságának a levegő átlátszatlansága.

A mi légkörünk rendes sűrűség mellett (760 mm barométer-állásnál) a zeniten már elnyel minden sugárzást, melynek hullámhossza  $\lambda$  2930-nál kisebb. Ha a műszert magas hegy tetején állítjuk fel, akkor a légkör hatásának egy részét elkerüljük ugyan, de ez csak nagyon csekély mértékben nyilvánul. 663 méterrel való emelkedés a láthatóság határát csupán  $\lambda$  0010 hullámhosszal tolja el a kisebb hullámok felé. Az, hogy mily rendkívül átlátszatlan a levegő a rövidebb hullámok számára, abból tűnik ki, hogy 10 cm vastag levegőréteg már csak  $\lambda$  1570-nél nagyobb hullámokat bocsát keresztül. Az ibolyántúli színekre vonatkozó laboratóriumi vizsgálatoknál ez okból kellett a műszereket légmentesen elzárni s azután léghíjasra szivattyúzni.

Úgy látszik, hogy az oxigén és a nitrogén okozza a kisebb hullámoknak ezt az erős elnyelését, de újabb vizsgálatok szerint ebben az ozonnak is fontos szerepe van. A jelenség egy részének az oka talán egyáltalán nem az elnyelésben keresendő, hanem az úgynevezett molekuláris refrakcióban. A lényegében lord RAYLEIGH-től származó elmélet szerint gázokban a fénysugarak visszaverődése vagy szétszóródása megy végbe, mely annál erősebb, mennél jobban közeledik a hullámhossza az illető fénymolekulák méreteihez; tehát mennél kisebbek lesznek a hullámok s ez a növekedés a hullámhossza valamely magas hatványával arányosan történik. Ez az elmélet egyszerű módon magyarázza meg az ég kék színét. Nagyon valószínű, hogy a legkisebb hullámhosszágú sugarak már igen csekély vastagságú gázzrétegeknél is majdnem teljesen visszaverődnek.

Míg a fotográfia alkalmazásával csak mintegy  $0.3 \mu$  hullámhosszig tehető láthatóvá a napszínkép ibolyántúli része, addig



a vörösöntúli rész láthatóvá tételére oly módszereink vannak, a melyeknek segítségével ez sokkal nagyobb mértékben válik lehetővé. Mindezeknél az eljárásoknál el kell kerülni az üveg használatát, mert az a vörösöntúli s az ibolyántúli sugarak számára egyaránt átlátszatlan. Optikai közegként csupán a folyópát és a kőso jöhetnek még szóba. De a legkifogástalanabb természetesen ismét a fémtükrök alkalmazása.

E módszerek egyike ABNEY-től felfedezett külön fotografiai eljáráson alapszik. A brómezüsthez gyantát kevernek, miáltal a fotografus-lemez érzékenysége annyira fokozódik, hogy még az olyan hosszú hullámok iránt is érzékeny, minők forró vízből, tehát 100 C.<sup>o</sup>-ú hőforrásból származnak. Azonban a napszínkép finomabb fölvételeinél ezt a módszert csak az 1  $\mu$  hullámhosszig lehetett használni. ABNEY színeképvonal-katalógusa az ultravörösben 590 vonalat sorol fel  $\lambda$  7140-től  $\lambda$  9870-ig.

A foszforeszczenzián alapuló másik módszert BECQUEREL alkalmazta. Lehetőleg intenzív napszínképet valamely foszforeszkáló anyagból álló rétegre vetítünk. Ha azután némi idő múlva a színeképet ernyővel hirtelen eltakarjuk, akkor a vörösöntúli színeképrész rövid időre láthatóvá válik az illető anyagnak sajátos fényében. A sötét vonalak szintén fölismerhetők. Megfigyelés és még inkább mérés a gyorsan eltűnő foszforeszkáló színeképen nagyon bizonytalan és nehéz. A jelenség folytonosabbá tehető olyképpen, hogy a megfigyelendő vörösöntúli színeképrészre egy másik színekép ibolyántúli részét vetítjük, a mely utóbbiban a tágas rés folytán vonal már nem látható. Ekkor az a sajátos jelenség következik be, hogy az ibolyántúli sugarak megszüntetik a vörösöntúli sugarak okozta foszforeszczenziát, de a vörösöntúli sugárzás erősségéhez képest különböző mértékben. Ennek következtében a vörösöntúli színekép vonalai és szalagjai sötét alapon világosnak látszanak. Ez ugyan mindig csak a színeképnek kicsiny területén következik be, de az ibolyántúli színekép eltolásával egymásután az összes részek láthatóvá tehetők. Minthogy a színeképet aránylag érdes felületre kell vetíteni, azért az összes finomságok kárbavesznek s csupán az erős vonalak vagy szalagok válnak láthatóvá. BECQUEREL a 0.76  $\mu$ -tól 1.88  $\mu$ -ig terjedő közben 27, többnyire széles szalagot tudott megmérni.

A vörösöntúli színekép megvizsgálásának harmadik és legjobb

módszere a hőszugárzásnak bolométerrel való mérésen alapszik. LANGLEY ezt a módszert, melynek velejét már a 156. lapon ismertettük, a tökéletesség igen magas fokára emelte, amint ez a LANGLEY-féle bolométerszínkép reprodukciójából is (299. lap) világosan kitűnik. Ugyanott már megemlítettük, hogy ez a görbe a napszínkép relatív energiáit tünteti fel. Itt inkább az érdekel bennünket, hogy a vonalakat és sávokat egészen  $5.6 \mu$  hullámhosszig sikerült láthatóvá tenni. Az, hogy mily óriási nagy a színképnek az a része, melyet LANGLEY kikutatott, legjobban kiviláglik a látható színképtől elfoglalt résszel való összehasonlításból, melyet a rajzon pontozott vonal jelez.

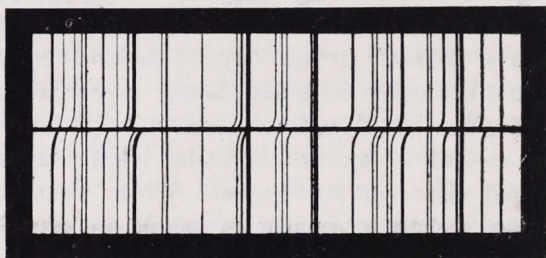
Most azzal a kérdéssel akarunk közelebbről foglalkozni, hogy honnan erednek a napszínkép sötét vonalai? Kis spektroszkóppal végzett néhány futólagos észlelés is elég világosan elárulja, hogy eredetük kétféle forrásból eredhet. Míg a vonalak túlnyomó része, — a zöld és ibolyaszín között pedig egyáltalán valamennyi vonal —, mindig állandóan erős és sötét, addig a vörösben, narancsszínben és a sárgában levő számos vonalnál igen erős változásokat láthatunk, melyek a Napnak a látóhatár feletti magasságától és a meteorológiai viszonyoktól függenek. A Nap alacsony állása és nedves levegő mellett a vonalak és sávok oly erősek, hogy hasonló erőseket a napszínkép egyéb vonalain egyáltalán nem észlelhetünk; ellenben mikor a Nap magasan jár s a levegő száraz, akkor ugyanezek a sávok csak a legnagyobb fáradsággal ismerhetők fel. Ennélfogva a napszínképnek nem valamennyi sötét vonala keletkezik magán a Napon végbement fényelnyelés következtében, hanem egy részük csak a mi légkörünkben keletkezik elnyelés következtében. E »légköri vonalak« erőssége függ azon út hosszától, melyet a napsugaraknak a mi légkörünkben meg kellett tenniök. E vonalak tehát általában erősebbek mikor a Nap alacsonyan áll, s gyengébbek, mikor a Nap magasan áll. Abból a további körülményből, hogy bizonyos vonalak erőssége a légkör páratartalmától függ, közvetlenül arra következtethetünk, hogy ezek a sávok a vízpárában való fényelnyelésből származnak.

A légköri vonalak pontos ismerete több szempontból nagyon fontos, elsősorban azért, hogy magukat a napvonalakat tisztán előállíthassuk. Ismeretük különben meteorológiai szempontból is fontos. Különösen CORNU vizsgálataiból kiderült, hogy a vízpárából



eredő vonalak intenzitásának pontos megmérése által meglehetősen biztossággal megállapíthatjuk a légkör vízpáratartalmát. Mint történelmi érdekességű tény megjegyezzük, hogy már néhány évtizeddel ezelőtt javasolták a spektroszkóp használatát időjósítás céljaira. A vízpárávonalaknak, az ú. n. »esősávok«-nak nagyobb fokú megjelenéséből közeli esőzés bekövetkeztére következtethetnénk.

Eddigélé két módszerünk van a légköri vonalak megállapítására. Az, a melyet először alkalmaztak, egészen önként kínálkozik: megfigyeljük, hogy miként változik a vonalak külseje a Nap magassága és a légköri páratartalom szerint. Azok az erősségbeli különbségek, melyeket egyenlő napmagasság, de különböző páratartalom mellett észlelünk, egyszersmind arra is tanítanak, hogy



133. rajz.

a légköri vonalak közül melyek származnak a vízpáratól. A légköri vonalak felismerésére sokkal beválóbb módszer a CORNU-féle, mely DOPPLER elvén alapszik (164. lap).

A Nap keletről

nyugat felé forog. Ennélfogva a fotoszférának a keleti peremen lévő fénykibocsátó részei közelednek a megfigyelő felé, a nyugati peremen levők pedig távolodnak tőle ugyanazzal a forgássebességgel, mely a Nap egyenlítőjén két kilométert tesz ki. A keleti peremen tehát a színekpvonalak az ibolyaszín felé tolódnak el, a nyugati peremen pedig a vörös felé. Ilyen eltolódást azonban csupán a *Napból eredő vonalak* szenvedhetnek, nem pedig a légköri vonalak, mert hiszen ezek a Nap forgásától függetlenek. A csekély forgássebességgel arányosan a vonaleltolódások is kicsinyek s csak erős szórás mellett ismerhetők fel, de ekkor igen szembeötlően, a mint a 133. rajzon láthatjuk. Ez a színekpfotografia akként készült, hogy a keleti és nyugati perem képeit külön optikai berendezés segítségével közvetlen érintkezésben a spektroszkóp részére vetítették. Világosan felismerhető, hogy a két színekp érintkezésvonala mentén hogyan

vannak ellenkező irányban meggörbülve egyes vonalak, míg mások teljesen egyenesek maradnak s ezek a légköri vonalak.

A légköri vonalak jegyzékének készítésénél CORNU a főntebb ismertetett eljárást kissé módosította. A spektroszkóp rése előtt elhelyezett lencsének lengő mozgatásával gyorsan váltakozva a Napnak hol a keleti, hol a nyugati peremét vetítette a résre. A tulajdonképpeni napvonalak ezáltal gyorsan ide-oda tolódnak, ellenben a légköri vonalak nyugalomban maradnak.

A légköri vonalak legtöbbje kétségtelenül a vízpáráról származik, de a legfeltűnőbbek nem innét erednek. Ilyenek az *A* és *B* sávok, melyeknek szabályszerű vonalelrendeződését már láttuk a 132. rajzon, továbbá az  $\alpha$  sáv, melynek összetétele egészen hasonló. EGOROFF-nak és JANSSEN-nek sikerült ezeket a sávokat az elektromos lámpa fényében felismerni, miután a sugarak igen vastag oxigénrétegen hatoltak keresztül. Hosszabb időn át eldöntetlenül maradt, vajjon a mi légkörünk oxigénje a fényelnyelő közeg, vagy pedig a Napé. JANSSEN-nek a Montblanc csúcsán végzett megfigyelései igazolták, hogy ezek a vonalak nagy magasságban lényegesen gyöngébbek, mint a mélyen fekvő helyeken, a miből JANSSEN azt következteti, hogy ez a fényelnyelés csakis a földi légkörben jöhet létre. Következtetése nem egészen kifogástalan, mert meglehet, hogy már a Nap légkörében jön létre valami fényelnyelés, mely azután a földi légkörben még erősödik. Azt is figyelembe kell venni, hogy ezek a csoportok nem tisztán oxigénvonalakból állanak, hanem hogy a szoláris fémvonalakon kívül légköri vízpára-vonalakat is tartalmaznak, melyeknek változó erőssége a sávokösszerejét is módosítja. CORNU vizsgálatai szerint pl. az  $\alpha$  sáv 93 vonalat tartalmaz; közöttük 27 szoláris vonal és 11 többnyire igen erős vízpára-vonal van. A zöldtől az ibolyántúlra terjedő részben nincsenek légköri vonalak, a vörösöntúli színekben ellenben teljesen uralkodnak. Ezek a vonalak ott sávokat formálnak és kiterjedésük fölülmúlja az egész látható színek terjedelmét, a mint azt a 107. rajzon láthatjuk. Itt a vízpára mellett a széndioxid is szerepel mint erős fényelnyelő közeg. Erre vonatkozó közelebbi adatokat könyvünk más helyein találhatunk.

Különösen érdekes az a kérdés, hogy a napvonalak milyen kémiai elemektől erednek. Ilyen vonalakat nagyszámban közve-



tetlenül a színeképelemzés tudományos megalapozása után ismer-  
tek fel, leginkább KIRCHHOFF és BUNSEN munkálatai alapján.  
Főleg azok az elemek tartoznak ide, melyek feltűnően erős, vagy  
nagyon számos vonalat szolgáltatnak úgy a laboratóriumban,  
mint a Napon; így elsősorban a nátrium a jellemző sárga vonal-  
párral, mely megfelel a FRAUNHOFER-féle *D*-vonalnak; a hidrogén  
az erős *C*, *F*, *g* és *h* FRAUNHOFER-féle vonalakkal; a magnézium  
a szintén nagyon jellemző zöld *b* vonalcsoporttal; a vas több  
száz vonallal stb.

Némely esetben, különösen ha gyöngé vonalakról van szó,  
nagyon bizonytalan marad annak megállapítása, hogy valamely  
elem a Nap légkörében jelen van-e? Két, különböző hőmérséklet-  
nél ugyanaz az elem két, erősen különböző színeképet szolgálta-  
hat, miként a 8. fejezetben említettük. Minthogy a Napon ural-  
kodó hőmérséklet igen magas s — talán az elektromos szikrát  
kivéve — mindenesetre magasabb annál a hőmérsékletnél, a melyet  
földi fényforrásainkkal elő tudunk állítani, nagyon jól elképzel-  
hető, hogy a Napon lehetnek egyes elemek, melyeknek színeképet  
nem tudjuk az illető elemhez tartozónak felismerni.

Az elemek laboratóriumi színeképi vizsgálatát gyakran az teszi  
bonyolódottá, hogy teljesen lehetetlen az elemeket chemiailag oly  
tisztán előállítani, hogy a színeképben *kizárólag* egy elem vonalai  
jelenjenek meg. A »hamis« vonalaknak elkülönítése a valódiaktól  
gyakran igen sok fáradságot és gondosságot követel. Mindezek  
alapján beláthatjuk, hogy igen nagyon nehéz biztosan megállapí-  
tani, hogy valamely földi elem valóban meg van-e a Napban.

Az ellenkező eset is előfordul. Van nagyszámú napvonal,  
melynek eredetét nem ismerjük. A napperem színeképében már  
régén felismertek két jellemző fényes vonalat, melyek semmiféle  
földi elemnél sem fordultak elő s melyeket szoláris eredetük miatt  
héliumnak és koróniumnak neveztek el. A héliumot később a  
földi elemek sorában is megtalálták, a koróniumot ellenben még  
mai napig sem sikerült megtalálni.

A következő jegyzékben felsoroljuk mindazokat az elemeket  
atómsúlyaikkal együtt, melyeknek jelenléte a Napon biztos. Sor-  
rendjük megfelel azon vonalak számának, melyeknek megegye-  
zését a Nap vonalaival felismerték. De ezzel egyáltalán nem adtuk  
meg a megállapítás biztonságának fokát is, a mint ezt pl. a

nátriumnál láthatjuk. A Nap elemei közül ez ugyan az első, a melyet felismertek, jegyzékünkben mégis csak a huszadik helyen szerepel.

Vas	56	Neodymium	143	Aluminium	27
Nikkel	58	Lanthán	138	Kadmium	112
Titánium	48	Yttrium	88	Rhodium	102
Mangán	55	Niobium	93	Erbium	165
Chrom	52	Molybdén	95	Zink	65
Kobalt	59	Palládium	106	Réz	63
Szén	12	Magnézium	24	Ezüst	107
Vanádium	51	Nátrium	23	Beryll	9
Zirkonium	90	Szilícium	28	Germánium	72
Czérium	139	Hidrogén	1	Ón	118
Kalcium	40	Stroncium	87	Ólom	205
Skandium	44	Bárium	136	Kálium	39
				Hélium	4

A következő elemekről kétséges, vajjon a Napon jelen vannak-e:

Iridium	192	Ruthénium	101	Wolfram	183
Osmium	190	Tantál	182	Urán	237
Platina	193	Thorium	231	Lithium	7

A következő elemeknek a Napon való jelenlétét nem lehet kimutatni:

Antimon	119	Caesium	132	Rubidium	85
Arzén	74	Arany	196	Szelén	79
Wismut	207	Indium	113	Kén	32
Bór	11	Hígany	199	Thallium	203
Nitrogén	14	Foszfor	31	Prazeodymium	139
				Rádium	225

A légkörünkben felfedezett újabb elemek közül nem mutatható ki a Napon:

Argon	40	Neon	20
Krypton	81	Xenon	127

További (a Napon való előfordulásuk szempontjából) kétséges elemeknek tekinthetjük a következőket, mert még nincsenek kellőképpen megvizsgálva:

Bróm	79	Oxigén	16	Holmium	160
Chlór	35	Tellur	127	Thulium	170
Jód	126	Gallium	70	Terbium	159
Fluór	19			Ytterbium	172



Az, hogy némely elem vonalai a Nap színekéből hiányznak, még egyáltalán nem bizonyíték arra, hogy az illető elemek valóban hiányzanak a Nap légkörében. Annak, hogy némely vonal nem mutatkozik a nap-színekben, az oka igen sok esetben a jellemző vonalak gyöngye volta vagy erős elmosódottsága. Némelykor az a körülmény is szerepel, hogy a színek látható részében nincsenek is vonalak. Így a vonalak hiánya teljesen valószínűnek látszik a kénnél, foszfornál, bórnál, szelénél, arzénél, brómnál, chlóránál, jódnál, fluóránál és másoknál s általában a legtöbb metalloidnál, a melyeknek színeképeiben rendszeren kevés föltűnőt találhatunk. De mégis úgy látszik, mintha az elemek atómsúlya és a Napon való előfordulásuk között valami összefüggés lenne, még pedig oly értelemben, hogy a magas atómsúlyú elemek közül csak olyanokat lehetett felismerni a nap-színekben, melyeknek színeképe nagyon szembetűnő; ilyenek a czerium, lanthán, bárium, erbium és az ólom. A Napon biztosan jelenlevő összes elemek közepes atómsúlya 75, míg a kétséges elemek közepes atómsúlya 168, az eddig még a Napon nem talált elemek közepes atómsúlya 155 (a spektroszkópiailag jelentéktelen elemek kizárásával). Közelfekvő az a gondolat, hogy a nehezebb gázok inkább a Nap légkörének mélyebb rétegeiben fordulnak elő, a honnét hozzánk már nem érkezik fény. De az ilyféle statisztikai következtetéseket mindig csak nagy óvatossággal fogadhatjuk.

A szén vonalainak jelenlétét a Nap-színekben sokáig kétségbe vonták. De ezek a vonalak most már biztosan ki vannak mutatva, bár nagyon gyöngék. A Nap színekében a szénhidrogén jellemző sávjait észlelhetjük, különösen a legfényesebb zöld sávot, melynek hullámhossza az éles szélén  $\lambda$  5165. Egyelőre még eldöntetlen marad, hogy itt a szénhidrogénnek vagy magának a szénnak a színekéről van-e szó?

*A napfoltok színeképe.* Ha a fotoszférának valamely napfoltot tartalmazó részét távcső segítségével a spektroszkóp részére vetítjük, akkor a folt a színekben végighúzódo sötét szalag alakjában jelenik meg. Ezen elsötétülésnek két oka van. Az egész folytonosan összefüggő háttér sötétebbnek látszik, mint a fotoszféra szomszédos helyein s azonkívül nagyszámú sötét FRAUNHOFER-féle vonal erősebbé vált és kiszélesedett. Sokáig azt gondolták, hogy a folytonos színek csakéylebb fényessége valamely általános

fénygyöngülésen alapszik. Egyes megfigyelők azonban igen erős szórás alkalmazásával arra a nézetre jutottak, hogy az elsötétülés számtalan gyöngye sötét vonaltól ered. MITCHELL újabb megfigyelései alapján e nézet helyessége iránt nem lehet semmiféle kétség. A FRAUNHOFER-féle vonalak erősödése némelykor elég tetemes; egészen gyöngye vonalak néha erősen kiszélesednek és elsötétülnek. A kiszélesedett vonalak száma igen nagy, de foltról-foltra változó. Némely vonalaknál a kiszélesedés nem szimmetriás a középhez képest, hanem egyoldalú, különösen az ibolyaszín felé. Ez a nonszimmetriás kiszélesedés különösen a vas vonalainál tűnik fel nagyon gyakran; ehhez megjegyzendő, hogy a vas vonalainak száma túlnyomó. Azon fémek közül, a melyeknek vonalai a napfoltok színeképében különösen gyakran látszanak kiszélesedve, a következőket emeljük ki: kalcium, nátrium, vas, titánium, magnézium, nikkel, chrom.

A napfoltok színeképében külön elmosódott sávok is észlelhetők, melyek nem csatlakoznak már meglevő vonalakhoz. A legtöbbet közülök finom vonalakra lehet szétbontani, de ez állítólag nem valamennyinél lehetséges. E vonalak természetéről eddig még csak keveset tudunk, de egyesek közülök kétségtelenül a titániumtól származnak. Némelyek azt gondolják, hogy ellentétben a többi vonalakkal chemiai vegyületektől, például titanoxidtól származnak.

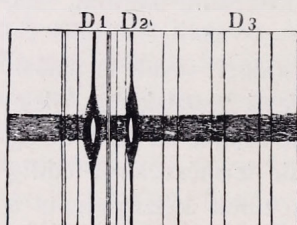
A napfoltok színeképéről eddig említett jelenségek jellegzetes fényelnyelési tünetények. Valamennyinek eredete a foltokban végbemenő erősebb fényelnyeléssel magyarázható. Emellett nyílt kérdés marad, hogy a fényelnyelés megnövekedésénél a közreműködő gázrétegek nagyobb sűrűsége, vastagsága, vagy alacsonyabb hőmérséklete a mértékadó. Látni fogjuk, hogy az utóbbi a valószínűbb.

A fényelnyelésen alapuló jelenségek mellett ellenkező természetű tünetények is észlelhetők a foltok színeképében, a melyek ugyan általában csak csekélyebb számú vonalra szorítkoznak, különösen a hidrogén, a kalcium és a nátrium vonalaira. De egy különös esetben, egy 1882. október 15.-i napfolton majdnem valamennyi vonal észrevehetően gyöngébb volt, mint a fotosféra színeképében, míg az általános fényelnyelés erősen megnövekedett. HALE állapította meg, hogy a vonalak erősödése és gyöngülése



közvetlenül egymás mellett észlelhető. Ez oly jelenség, mely az előbb említett kétséget, hogy a fényelnyelés gyarapodását a gázok nagyobb sűrűségével, vagy pedig alacsonyabb hőmérsékletével kell-e megmagyaráznunk, kétségtelen módon az utóbbi tényező javára dönti. A gázrétegek nagyobb sűrűsége, vagy vastagsága mellett a vonalaknak csak az erősödése következhetik be, míg hőmérsékletváltozásoknál egyes vonalak intenzitásának növekedése és csökkenése egyaránt lehetséges még ugyanazon elem vonalainál is.

A hidrogén-vonalak majdnem mindig keskenyebbek, némelykor teljesen eltűnnek s a színek egyes helyein megfordítva mint világos vonalak, tehát mint emissziós vonalak jelennek meg.



134. rajz.

Ez az utóbbi eset legtöbbször azokon a helyeken következik be, a hol úgynevezett híd vonul át a folton, vagy pedig a hol a rózsaszínű fátyol van jelen. De észlelték ezeket ily fényes alakban már teljesen sötét magú foltokon is, a melyekben közvetlen megfigyelésnél semmit sem lehet felismerni. A fényes emissziós vonalak megjelenését

a KIRCHHOFF-féle törvény alapján csak úgy lehet megmagyarázni, ha fölteszük, hogy a folt fölött izzó hidrogéntömegek vannak, melyeknek hőmérséklete *magasabb*, mint ama réteg hőmérséklete, mely a folton belül a folytonos színekpet előidézi. Ily forróbb gáztömegek pedig a protuberanciákban vannak jelen, a melyekről alább lesz szó. Csakugyan egyes esetekben valóban meg lehetett figyelni ilyen protuberanciákat valamely napfolt fölött éppen úgy, mint rendes körülmények között a Nap peremén.

A nátriumvonalaknál a jelenség egészen más, mint a hidrogén-vonalaknál. Az előbbieket soha sem fordulnak meg teljes hosszukban, hanem a foltnak megfelelő részben nagyon sötétek és rendkívül kiszélesednek és csak a közepükben látszik valami finom, nagyon fényes vonal. A 134. rajzon ez igen jól látható. A rajzon végigvonuló sötét szalag napfolttól ered. A magyarázat a KIRCHHOFF-féle törvény alapján nagyon egyszerű. A foltban izzó nátriumgőzrétegnek kell jelen lennie, melynek hőmérséklete viszonylag alacso-

nyabb. Ez idézi elő a kiszélesedett elnyelési vonalakat. Az említett réteg fölött magasabb hőmérsékletű és csekélyebb sűrűségű nátriumgőz foglal helyet s tőle származnak a fényes finom vonalak.

Újabb időben MITCHELL végzett beható vizsgálatot a foltok színekéről, még pedig az *a* vonaltól az *F* vonalig terjedő részben. A következő összeállítás ez alapon nyújt képet azokról a változásokról, a melyeket a foltszínek szenved szemben a fotoszféra színekével.

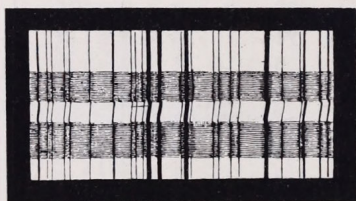
Elem	Az elváltozott vonalak össz-száma	Mindig megforduló vonalak	Némelykor meg- fordulnak	A meg- fordulás kétséges	Gyöngített vonalak
Vas	210	11	38	8	21
Ismeretlen	136	1	21	4	5
Titánium	121	1	9	1	5
Chrom	79	3	13	2	5
Nikkel	47	1	11	1	7
Vanádium	43	—	19	3	—
Kalcium	24	—	4	1	1
Mangán	20	—	9	1	1
Kobalt	11	—	—	—	—
Nátrium	6	—	1	—	—
Szilícium	5	—	—	—	5
Yttrium	5	—	5	—	—
Lanthan	4	—	4	—	—
Magnézium	3	—	3	—	—
Hidrogén	2	—	2	—	—
Réz	2	—	2	—	—
Hélium	1	—	1	—	—
Scandium	1	—	1	—	—

A megváltozott vasvonalak száma a meglevő vonalak 31<sup>0</sup>/<sub>0</sub>-ját teszik ki, megfordulást 23<sup>0</sup>/<sub>0</sub>-nál figyeltek meg. Különös viselkedést mutatnak a vanádium vonalai. Ezek t. i. a Nap színekében igen gyöngék, a foltszínekben azonban nagyon feltűnőek. Az összes vanádium-vonalak 80<sup>0</sup>/<sub>0</sub>-a megváltozott s ezeknek 44<sup>0</sup>/<sub>0</sub>-ánál a megfordulást is megfigyelték. A kalcium vonalai közül különösen az ibolyaszín határához közel fekvő erős *H* és *K* vonalak mindig meg vannak fordítva. Ezekről a vonalokról a fáklyák színekénél



még bővebben szólunk. A legtöbb megfordított vonalat, t. i. 45%-ot, a mangánál találjuk. Egy esetben a mangán-vonalak viselkedésének olyan változását tapasztalták, amilyent eddig semmiféle más fémnél sem találtak. Az 1905. évi februárius havi nagy napfoltnál e vonalak közül igen sok egészen fényes volt. Mikor a folt márcziusban visszatért, ezek a vonalak többé már nem voltak megfordítva, hanem ellenkezőleg sötétek, erősen szélesek és elmosódottak voltak.

A szilíciumnál sohasem észlelték a vonalak megfordulását, hanem csupán gyöngülését. A magnéziumnál csak az ismeretes *b*-csoport erős vonalai fordultak meg. A héliumról meg kell jegyeznünk, hogy ennek vörös vonala csak ritkán mutatkozik megváltozottan. A hélium sárga  $D_3$  vonaláról czélszerűbben későbbben szólunk.



135. rajz.

Fölötte érdekesek a napfoltok színeképében mutatkozó vonal-eltolódások és torzulások, mert a DOPPLER-FIZEAU-elv alapján belőlük olvashatjuk ki a szóbanforgó gáztömegek mozgásának sebességét a látósugár irányában.

Rendesen csak egyes vonalakon látszik ez az eltolódás, különösen a hidrogén vonalain. De előfordult már, hogy az összes vonalak eltolódtak. A 135. rajz fényes ívtől átszelt napfolt színeképének *b* vonalcsoportját tünteti fel VOGEL-nek 1871. május 6-i megfigyelése szerint. A nagyobbik folt széle mentén a vonalak az ibolyaszín felé tolódtak el, a mi a Földtől való távolodást, a Napon tehát leszálló mozgást jelent. A kisebbik folt szélén ellenkező irányú mozgás tapasztalható. A mozgás sebessége mintegy 30—40 kilométer másodpercenként. A hidrogénvonalak torzulásai megfelelnek a protuberanciákon észlelt vonaltorzulásoknak s mint-hogy az utóbbiakon sokkal jobban és gyakrabban figyelhetők meg, azért itt nem foglalkozunk velük tovább. HALE legújabb vizsgálatai szerint egyébiránt a napfoltokban végbemenő fel- és leszálló mozgások általában elenyészően csekélyek.

*A napfáklyák színeképe.* A napfáklyák színeképének látható része a közönséges fotoszféra-színeképtől csupán a folytonos háttér

nagyobb fényességében különbözik. Ritkán lehetett hidrogén-vonalak megfordulásának valamelyes nyomát észlelni. Különösen érdekes az ibolyaszín határán levő  $H$  és  $K$  kalciumvonalak viselkedése, melyet csak fotografiai úton lehet tanulmányozni. Ez a két vonal a fáklyákban mindig meg van fordítva sőt majdnem mindig kétszeresen vannak megfordítva. Az erősen kiszélesedett elnyelési vonalon az emissziós vonal két fényes összetevőre bontva jelenik meg s közöttük a kétszeresen megfordított finom fekete elnyelési vonal látható. HALE és DESLANDRES vizsgálatai bebizonyították, hogy ezek a kalcium-vonalak a napfoltok színképében is mindig megfordítva jelennek meg, csakhogy a kettős megfordulás ritkább. Sőt azt is megállapították, hogy ezek a vonalak még a napfelület számos oly pontján is mutatkoznak fényesnek, a melyeken a közvetetlen megfigyeléssel semmi különöset sem lehetett felfedezni. Ehhez járul az az első pillanatra sajátságosnak látszó tény, hogy a többi kalcium-vonalnál nem mutatkozik megfordulás. De HUGGINS és neje megmagyarázták ezt a viselkedést. Ha izzó fémgőz mennyisége folyton csökken, a vonalak fényessége természetesen mindig fogy, mígnem valamennyi vonal eltűnik. De előzőleg valamelyik vonalnak utolsónak kell megmaradnia s ez a színképileg legérzékenyebb vonal. De a  $H$  és  $K$  vonalak a kalciumnak színképileg legérzékenyebb vonalai, még pedig rendkívül nagy mértékben. Ha igen csekély mennyiségű kalciumgőz jelenléténél már az összes többi vonalak rég eltűntek, ez a kettő még mindig nagyon intenzív fénnel világít. Sőt rendkívül nehéz a kísérleteknél használt elektródokat oly tisztán előállítani, hogy a kalcium-vonalak ne jelenjenek meg. Ebből az következik, hogy a fáklyák fölött s egyáltalán mindazokon a helyeken, a hol a kalcium-vonalak megfordulva mutatkoznak, a kalciumgőz mennyisége vagy sűrűsége csak nagyon csekély lehet, mindenestre csekélyebb, mint a fotoszférában, mely az összes kalcium-vonalakat mint elnyelési vonalakat tünteti fel.

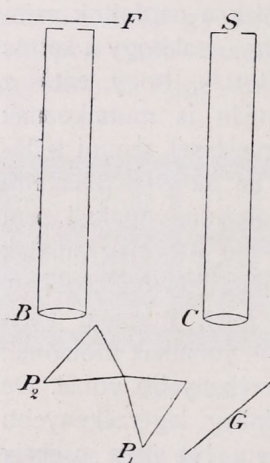
A kalcium-vonalak megfordulását főleg HALE használta fel a Nap megfigyelésének egy új módszerére, mely különösen a fáklyák tanulmányozására nézve volt korszakalkotó jelentőségű: a Nap kalcium-képének előállítása.

A spektrohéliográfnek nevezett műszer, melylyel HALE vizsgálatait végezte, eredetileg csak a protuberanciák fotografálására



volt száma (l. alább), de csakhamar a legnagyobb sikerrel a fáklyákat is vizsgálták vele. A műszer megértését a protuberanciák spektroszkópi megfigyeléséről alább elmondandó magyarázataink fogják elősegíteni.

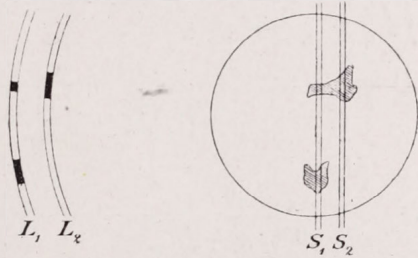
A spektrohéliográf elve röviden a következő: Minden spektrohéliográf alapján csak kevéssé tér el a spektroszkóp szerkezetétől. A főkülönbség mozgatható tükör alkalmazásában áll. Ezzel a tükörrel elérjük, hogy a résbe jutó fény belépési irányával párhuzamosan tér vissza. A spektroszkóp vázlatos keresztmetszetét a 136. rajz mutatja. A rés  $S$ -nél van. A rajta belépő fénysugárkévét a  $C$  kollimátor párhuzamosra teszi s azután a sugárkéve a  $G$  tükröre ér, a melyről a  $P_1$  és  $P_2$  prizmák felé verődik vissza. Az észlelő távcső  $B$  objektívján át a színek a fotografuslemezre vetítődik. Még megemlítjük, hogy a  $G$  tükröt diffrakciós ráccsal is helyettesíthetjük. Ez az elrendezés természetesen nagyobb szórást eredményez, mely több célra előnyös.



136. rajz.

Azok a berendezések, melyek ezt a műszert a közönséges spektroszkóptól megkülönböztetik, a következők: Közvetlenül az  $F$  fotografus-lemez előtt fémlemez van. Ebbe finom rést készítettek, mely olyan alakú, mint a használandó színekvonal. Prizmák használata mellett ezek a vonalak ugyanis görbék. Ez a lemez eltolható s úgy állítható, hogy pontosan összeesik a  $H$  és  $K$  színekvonalakkal. Ekkor aztán semmiféle fény sem érheti a fotografuslemezt, kivéve azt, mely a résen át jut rá. A refraktoron át a Nap képét a spektroszkóp  $S_1$  részére vetítjük (137. rajz jobb oldali képe). Tegyük fel, hogy a Napon két oly hely van (a rajzon ezeket a helyeket vonalkázás jelzi), melyeknél a kalcium-vonal fényesnek mutatkozik. Ekkor a fotografus-lemezen (137. rajz bal oldali képe) ennek megfelelően az  $L_1$  vonalnak két darabja (a rajzon feketével jelezve) lefotografálódik. Ha a rés  $S_2$ -nél lett volna, akkor csak a felső  $L_2$  vonal darab fotografálódott volna le, még

pedig a »kalcium-folt« ottani nagyságának megfelelően az  $L_2$  valamivel hosszabb, mint  $L_1$ . Ha tehát a rést folytonosan kissé eltoljuk s minden eltolás után a fotografus-lemez más helyén készítjük a fölvételt, akkor a lefotografált vonaldarabokból felismerhetnők a két kalcium-folt alakját. A spektrohéliográfal ilyen összefüggő folytonos képet akként állítanak elő, hogy a távcsőnek a deklináció-tengely körül való lassú forgatásával az egész napkorongot elvezetik a rés előtt, miközben egyidejűleg a fotografus-lemezt pontosan ugyanazzal a sebességgel a második rés mögött eltolják. Az eredmény a Nap mindama helyeinek hű képe, a melyeken fényes kalcium-vonal van jelen, vagyis a Nap kalcium-képe, a mely valóban csupán a Nap légkörében fényesen izzó kalcium-gőzt tünteti fel s mást nem. Világos, hogy más fémeknek ilyen nap-képét is előállíthatjuk ezzel a módszerrel, hacsak az illető fémek vonalai helyenként egyáltalán fényeseknek mutatkoznak.



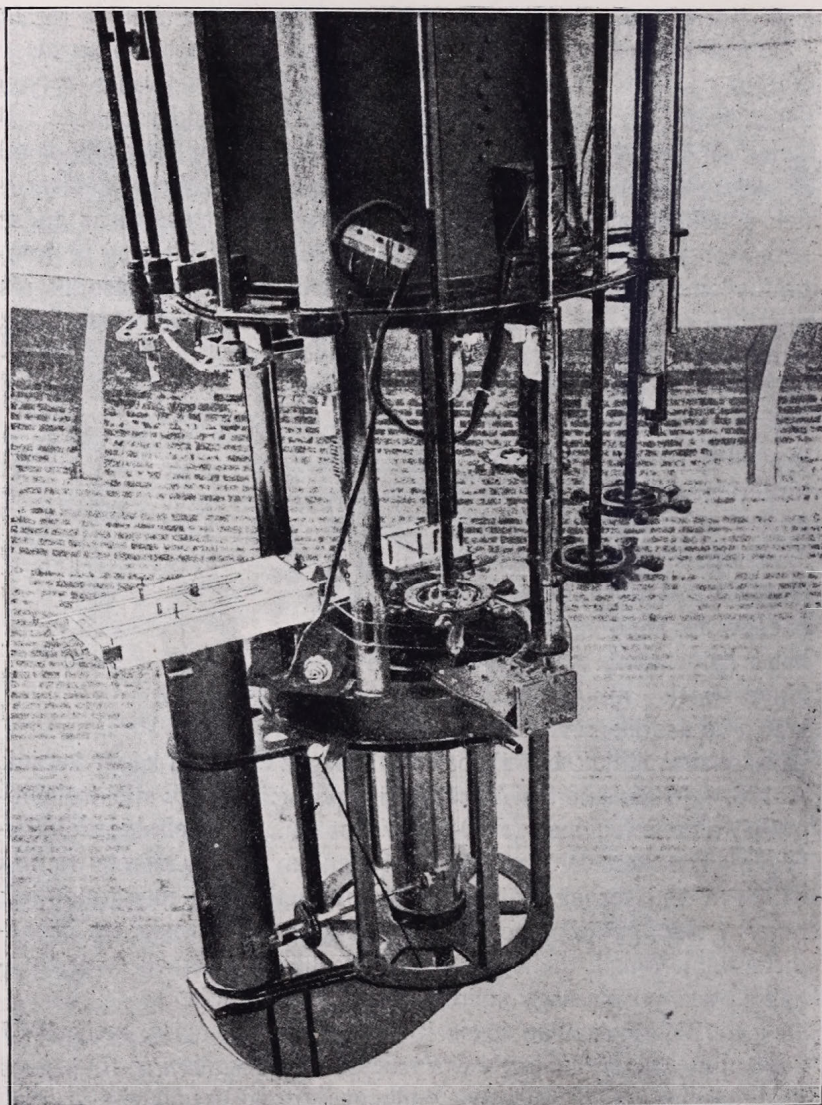
137. rajz.

Ha a második rést sötét nap-vonalra állítjuk be, akkor az illető gáz elnyelési képét kapjuk. A 138. rajz az amerikai Verkes-csillagvizsgáló nagy spektrohéliográfját tünteti fel, mely a 19 méter hosszú nagy refraktor okulárvégére van szerelve. Azt, hogy mily rendkívül nagy méretei vannak ennek a műszernek, könnyen elképzelhetjük, ha meggondoljuk, hogy a Nap gyújtósíkbeli képe a nagy refraktorban 18 centiméter átmérőjű. Ennélfogva a spektroszkóp lencséinek és prizmaínak is arányosan nagy méretűeknek kell lenniök.

A 139. rajz a Nap ilyen kalciumképének mása, mely 1903. augusztus 12.-én készült a Verkes-csillagvizsgálón a HALE-féle spektrohéliográfal. Láthatjuk, miként borítják a fáklyák a Nap egész korongját, holott rendszeren csak a Nap peremén ismerhetők fel.

A feltűnően nagy, összefüggő kalcium-foltok azokon a helyeken mutatkoznak, a hol hatalmas foltok és foltcsoportok vannak jelen. Miként már említettük, a foltok többnyire fáklyákkal vannak



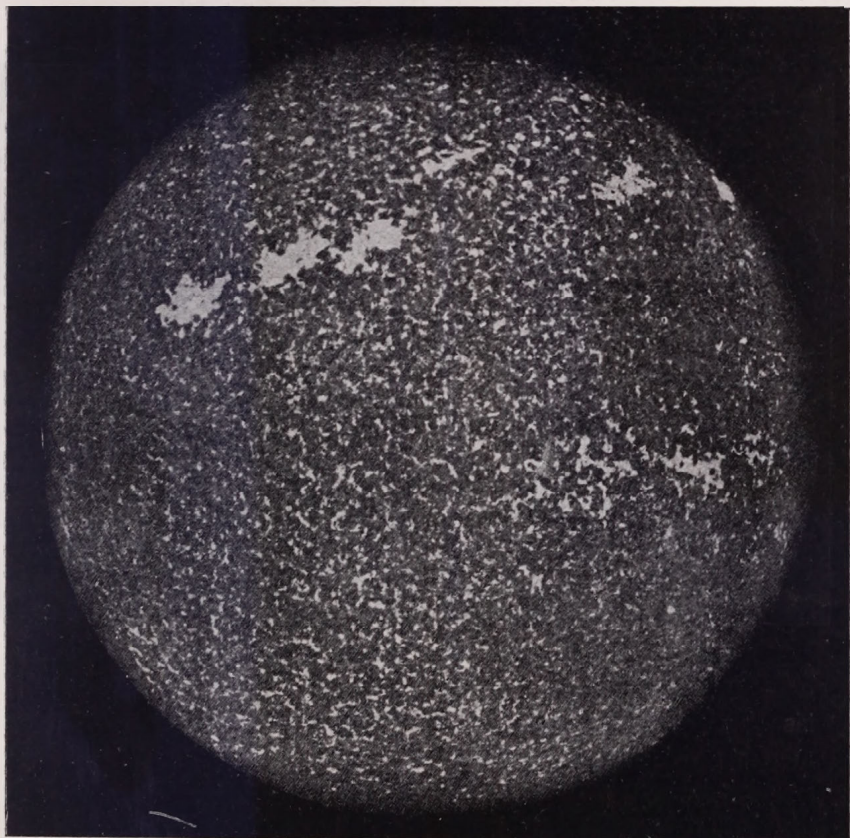


138. rajz.

körülvéve. Itt a fáklyák és a foltok egyaránt világosak, csak a foltok magva jelenik meg fekete pont alakjában.

Egyik legfontosabb feladat annak megállapítása, hogy a

kalcium-felhők azonosak-e a fáklyákkal, vagy nem? Biztonsággal ki lehetett deríteni, hogy általában kalcium-felhők ott vannak, ahol fáklyák, és hogy ezekkel alakra nézve közel megegyeznek. De úgy látszik, hogy világító kalcium-gőzök némelykor oly

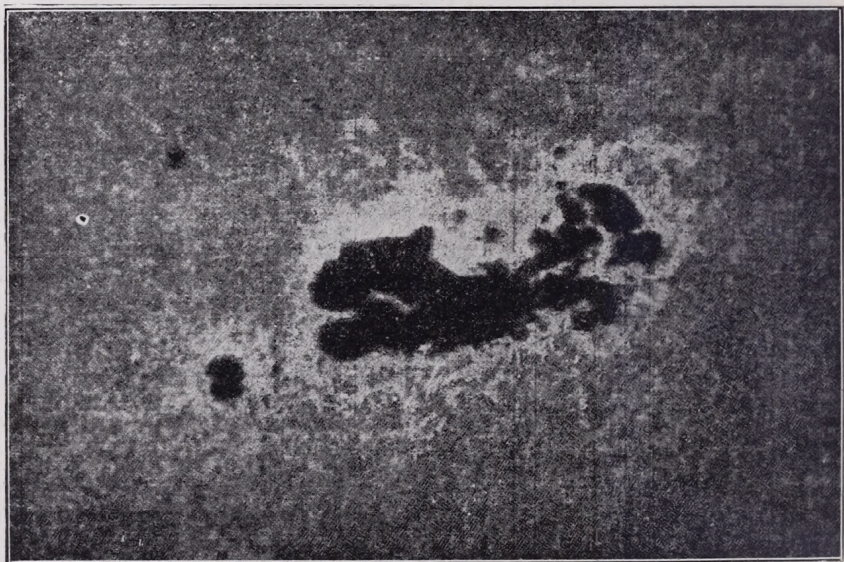


139. rajz.

helyeken is mutatkoznak, melyeken tulajdonképpen fáklyák nincsenek. Ezért HALE az azonosságot nem tartja biztosnak s a kalcium-felhők megjelölésére a kalcium-pelyhek (flocculi) elnevezést ajánlotta, mert erősebb nagyítás mellett kis pelyhekre bomlanak szét. Egész kicsiny részekből tevődnek ezek össze, melyek nagyságuk



és alakjuk szerint a fotoszféra-szemcsézettség fényes szemcséivel egyeznek meg s valószínűleg ezekkel azonosak is, amennyiben a legfelső csúcsukat alkotják. Ehhez képest azt kell föltennünk, hogy a kalcium-felhők a fáklyák legfelső részét alkotják, vagy közvetetlenül felettük helyezkednek el. A kalcium-felhők további magyarázatával a Napról szóló elméletek tárgya-



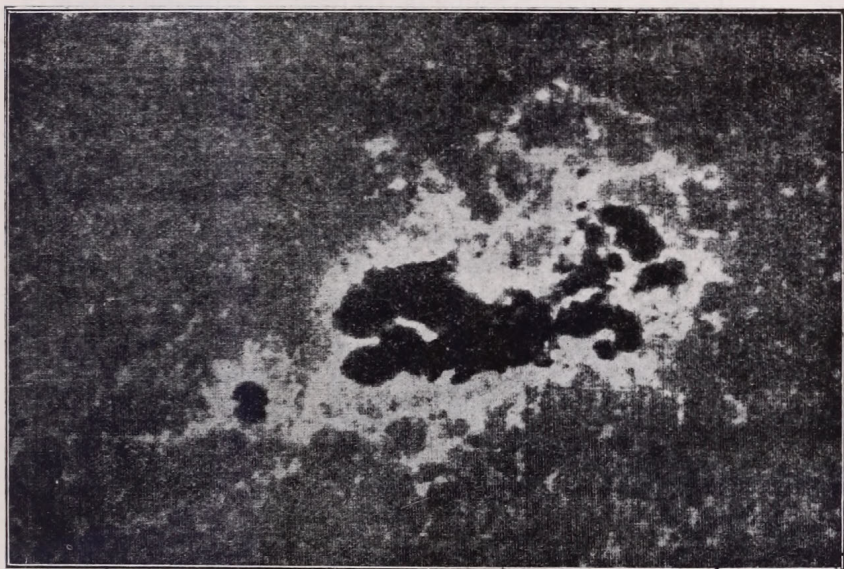
140. rajz.

lásakor fogunk foglalkozni. A mellékelt képek megértéséhez még megemlíjtük, hogy HALE szerint a kiszélesedett kalcium-vonalak közepe és szélei a fotoszféra feletti különböző magasságokkal arányosak, úgy hogy ilyenformán a Nap légkörének különböző szintjairól kapunk képeket a szerint, a mint a spektrohéliográf második rését a kalcium-vonal közepére, vagy szélére állítjuk be.

A 140. és 141. rajz az 1903. október 9-iki nagy napfoltról készült kalcium-képmása. A kalcium-felhők eloszlása a folt körül tökéletesen olyan, mint a fáklyáké a közvetetlenül lefotografált napfoltoknál (I. a III. táblát) összhangzásban a két alakzatnak már

említett közeli rokonságával. Az első kép mélyebb rétegből származik s jobban mutatja a pelyhek finomabb szerkezetét, mint a második kép, mely a nap-légkör magasabb szintájából való.

Míg a fáklyák alapalakjai meglehetősen állandók, addig a részletekben rendkívül gyors és hevesen végbemenő változások

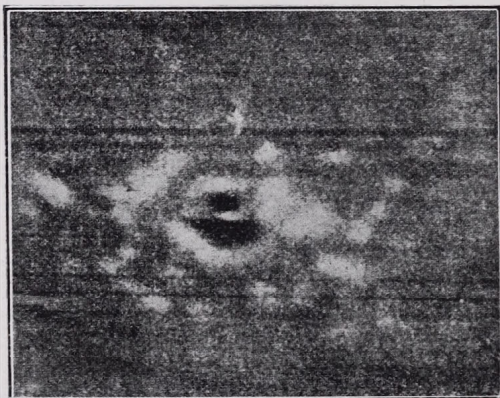


141. rajz.

következhettek be, legalább is a felső részekben, a melyek kalcium-pelyhekből állanak. Igen jellemző példát szolgáltatott erre az 1892. július 15-iki napfolt, a melyről itt HALE-től készített négy spektrohéliografikus képet közlünk (142., 143., 144., 145. rajz). Az első fölvételnél 11 óra 8 perczkor a napfolt fölött kalciumgőz-híd keletkezett, a mely jobbról kiindulva még nem érte el egészen a bal oldalt. A 12 percczel később készült képen ez a híd mint egyenes vonal már messze a folt szélén túl nyúlt. 27 percczel később 11 óra 47 perczkor a foltnak nyomát sem lehetett többé felismerni. A kalcium-tömegek teljesen elborították és túlragyogták. 2 óra 0 perczkor az eredeti állapot ismét közel



helyreállott; a hídból már csak a két vége van még, de a széleken a kalciumgőzök oly erősek, hogy a folt kisebbnek látszik. Nem lesz érdektelen, ha rámutatunk arra, hogy távcsövön való közvetlen megfigyelésnél az egész tűneményből aligha lehetett volna valamit is látni, mert a folt összfényességével szemben a kalcium-gőz fényessége túlnyöngé lett volna. Csak magában a legfényesebb kalcium-vonalban elég jelentékeny a kontraszt. Ha fölteszük, hogy a kalcium-felhők a fáklyákkal azonosak, akkor a 139. rajzból könnyen felismerhetjük, hogy a fáklyák mozgásának



142. rajz.

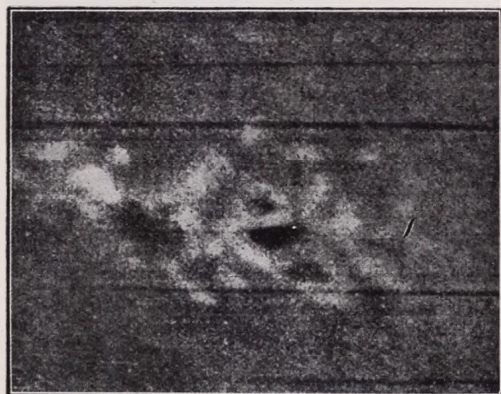
levezetésére hasonlíthatatlanul jobban használhatjuk a spektrohéliografikus fölvételeket, mint a közvetlen Nap-fotografiákat. Ebben a tekintetben a közeli jövőben még igen fontos eredményeket várhatunk. Előzetes eredményeink már most is vannak, s kétségtelen, hogy a fáklyák olyan forgástörvényt követnek,

mely mindenesetre igen közel megegyezik a foltok mozgástörvényével. A Yerkes-obszervatórium HALE-féle spektrohéliografikus megfigyeléseinek feldolgozásából FOX a következő összeállításban foglalt forgásidőket találta a különböző héliografikus szélességekben:

Héliografikus szélesség	A forgás tartama	Napi szögsebesség
0°— 5°	24·82 nap	14·50°
5°—10°	24·93 "	14·44°
10°—15°	25·38 "	14·18°
15°—20°	25·86 "	13·92°
20°—25°	26·32 "	13·68°
25°—30°	26·80 "	13·95°
30°—35°	26·31 "	13·68°
35°—40°	27·18 "	13·25°

Az a közeli megegyezés, mely a fáklyák és foltok forgómozgásában mutatkozik, valószínűvé teszi, hogy a fotoszféra maga is hasonlóan forog, különösen, ha még hozzá vesszük, hogy a két jelenség a fotoszférában mennyire különbözőnek látszik. Minthogy a fáklyákon és foltokon kívül más célbavehető határozott pontok a fotoszférán nincsenek, e föltevés helyességét csak a DOPPLER-FIZEAU-féle elv segítségével állapíthatjuk meg. Már láttuk, hogy a FRAUNHOFER-féle vonalak a nap-korong peremén eltolódást szenvednek, mely összhangzásban van a Napnak már egyébként is ismeretes forgásával.

A forgástörvényt tehát akként lehet vizsgálatnak alávetni, hogy az eltolódás nagyságát a perem különböző részein s ennél fogva különféle heliocentrikus szélességek alatt megmérjük. De minthogy a Nap egyenlítőjén a legnagyobb sebesség csak két km, s a változások e meny-



143. rajz.

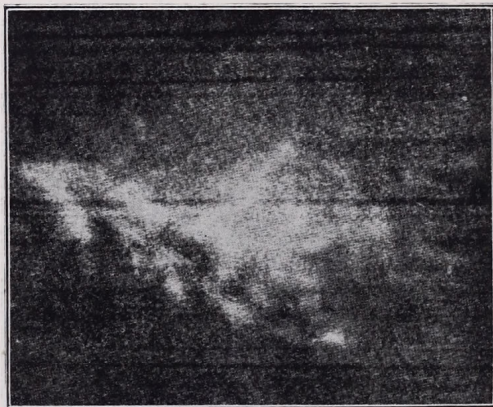
nyiségnek csak csekély törtrészei, könnyen belátható, hogy ez a vizsgálat a mérések rendkívüli pontosságát követeli. DUNÉR erős rácsspektroszkóppal végzett ilyenféle vizsgálatot akként, hogy megmérte néhány nap-vonalnak a távolságát egy légköri vonaltól, mely a Nap forgásától független. E nehéz vizsgálat eredményei a következő táblázatban láthatók, melyben a  $\varphi$  alatti rovat a heliocentrikus szélességeket tartalmazza,  $\nu$  a megmért sebességeket,  $\xi$  pedig az egyenlítőre redukált napi szögeltmozdulást.

$\varphi$	$\nu$	$\xi$
$0^0$	1.98	$14.14^0$
$15^0$	1.85	$13.66^0$
$30^0$	1.58	$13.06^0$
$45^0$	1.19	$11.99^0$
$60^0$	0.74	$10.62^0$
$75^0$	0.34	$9.34^0$



Ha a fotoszféra úgy forogna, mint valamely szilárd gömb felszíne, akkor az utolsó oszlopban levő  $\xi$  értékeknek egyenlőknek kellene lenniök az első sorban álló egyenlítői értékkel. De ez éppenséggel nincsen így, hanem ellenkezőleg, a sarkok felé erősen fogynak, pontos megegyezésben azzal, a mi a foltok és fáklyák megfigyeléséből következik. A forgás igazi törvénye azonban még ezekből az észlelésekből sem vezethető le bizonyossággal.

*A Nap peremének színképe.* A Napnak látható külső határa a fotoszféra. Ez tehát látható határa a látszó napkorongnak is. De



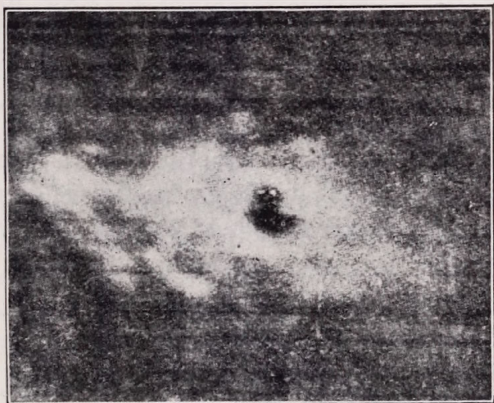
144. rajz.

a fotoszféra még korántsem a valódi határ, hanem a Nap légköre még sokkal meszszebbre terjed s csak fokozatosan látszik eltűnni a térben. A Nap légkörének a fotoszféra felett levő része azonban rendesen nem látható, mert fénye olyan gyöngye, hogy elnyomja a különösen a nap-korong környezetében fölötté

erősen megvilágított földi légkör fényessége. Ha a mi légkörünk fölé tudnánk emelkedni, akkor egész terjedelmében láthatóvá tehetnők a Nap légkörét azáltal, hogy a nap-korongot alkalmas köralakú ernyővel eltakarnók. Valami hasonló dolog következik be teljes napfogyatkozások alkalmával. A nap-korongot ekkor légkörünkön kívül fekvő ernyő takarja el. Ezáltal légkörünk megvilágítása legnagyobbbrészt megszűnik, túlvakítás nincsen többé s a Nap légkörének minden részlete láthatóvá válik. A fogyatkozás teljességének tartama, sajnos, mindig csak nagyon rövid, alig néhány perczig tart; maga a jelenség ritka s gyakran hat zavarólag az időjárás kedvezőtlenessége.

Teljes napfogyatkozáskor a következő tünetmények mennek végbe: a nap-korongot a fotoszférán túl vörösesen fénylő gyűrű övezi körül, melyet kromoszférának neveznek. Ez kifelé szabály-

talánul határolt s benne gyakran óriási méretű felhőszerű képződmények, az úgynevezett protuberanciák láthatók. A kromoszféra-hoz ezüstfehér gyűrű csatlakozik, melynek intenzitása gyorsan csökken; helyenként ez a gyűrű sugaras szerkezetet ölt s némelykor több napátmérőnyire követhető. A Nap légkörének ezt a részét koronának nevezték el. A teljesség első pillanatában, tehát közvetlenül azután, hogy az előrehaladó hold-perem a fotoszférát eltakarta, rövid pillanatra az összes FRAUNHOFER-féle vonalak fényeseknek látszanak. Ennek alapján a fotoszféra és kromoszféra között levő igen vékony réteget megfordító rétegnek nevezték. A spektroszkópi megfigyelés azt mutatja, hogy a kromoszféra és a protuberanciák főleg hidrogénből, héliumból és kalcziumból állanak. E fémek vonalaiban a kromoszférát és a protuberanciákat mindig tanulmányozhatjuk. A koronánál ez eddig még nem sikerült; tanulmányozása még mindig csak a teljes napfogyatkozások néhány percznyi időtartama alatt lehetséges.



145. rajz.

A nap-perem színekének észlelése a legkedvezőbb akkor, ha a rést a peremre merőlegesen állítjuk. A résnek az a része, a melyre még a nap-korongnak egy része esik, a rendes nap-színképet szolgáltatja sötét FRAUNHOFER-féle vonalakkal. Ha ezen színkép fényességénél fogva bántaná az észlelő szemét, a spektroszkóp okulárjában eltolható ernyővel könnyen eltakarható. A résnek az a része, mely a nap-peremen túlmegy, először is a megvilágított földi légkör színképét szolgáltatja, azaz gyöngített nap-színképet. Hogy ennek fényessége ne hasson zavaróan, erősen szóró spektroszkóppal kell észlelnünk. A Nap légkörének színképe, a mennyiben fényes vonalakkal áll, a földi légkör színképén mint háttéren jelenik meg s a fényes vonalak hosszúságából



megtudhatjuk, hogy a nap-perem fölé mekkora magasságra emelkednek az illető gázok.

Az úgynevezett megfordító réteg színeképét, mely teljes napfogyatkozások alkalmával néhány másodpercre megjelenik, rendszeren nem lehet tökéletességgel megfigyelni. Ez a réteg, mely valószínűleg nem különálló, hanem csak a fotoszférának legfelső része, csupán mintegy 1"-nyi, tehát legföljebb 1000 km vastag és a levegő szüntelen nyugtalansága következtében összekeveredni látszik a tulajdonképpeni nap-peremmel, úgy hogy magát a réteget csak a legritkább esetekben lehet az észlelésnek hozzáférhetővé tenni. Azonban különös eljárás segítségével az utóbbi évek napfogyatkozásai alkalmával többször lehetett megfigyelni. Erről alább még lesz szó.

A kromoszféra színeképét ellenben nagyon könnyen lehet megfigyelni, mert vonalai mint a megfelelő FRAUNHOFER-féle vonaloknak rövid, fényes folytatásai jelentkeznek. A kromoszféra-ban mindenkor észlelhető vonalakat a következő táblázatban soroljuk fel:

Jelölés	$\lambda$	Elem	Jelölés	$\lambda$	Elem
—	7065·5	hélium	—	4340·7	hidrogén ( $H\gamma$ )
$C$	6563·1	hidrogén ( $H\alpha$ )	$h$	4101·9	hidrogén ( $H\delta$ )
$D_3$	5876·0	hélium	—	3970·3	hidrogén ( $H\varepsilon$ )
$1474K$	5316·9	korónium	$H$	3968·6	kalcium
$F$	4861·5	hidrogén ( $H\beta$ )	$K$	3933·8	kalcium
—	4471·8	hélium			

A kromoszféra némely pontján a fényes vonalak száma néha igen nagy, különösen ott, a hol az úgynevezett kitérőes protuberanciák emelkednek a magasba. De ekkor tulajdonképpen ezen protuberanciák színeképével van dolgunk. A nap-peremen a vonalak külseje igen jellemző. A hidrogén és a kalcium vonalai széles végükkel a nap-peremre támaszkodnak, kifelé pedig finom csúcsban végződnek. E jelenség magyarázata nagyon egyszerű.

Először is a mélyebb rétegben a gázok sűrűsége nagyobb, mint a felső rétegekben, azután meg a nap-peremből érintői irányban kiinduló sugár útja a kromoszférában annál hosszabb, mennél mélyebben fekszik a kiindulópont. Mindkét körülmény kiszélesedést von maga után, éppen úgy, mint a mélyebb részeknek valószínűleg magasabb hőfoka.

Egészen különösen s ellenkezően viselkedik a  $D_3$  héliumvonal, mely a nap-peremen finom csúcsban kezdődik, azután kiszélesedik s kifelé ismét csúcsban végződik. Ezt csak úgy lehet megmagyarázni, hogy a hélium a fotoszféra fölött alkot réteget, melynek legnagyobb sűrűsége a fotoszféra fölött bizonyos magasságban van. E szerint a sűrűség úgy fel- mint lefelé fogyna. Másik feltűnő jelenség a  $D_3$  vonalnál az, hogy rendesen nem felel meg neki sötét elnyelési vonal a fotoszféra színpéjében. Eddig még csak két esetben lehetett mint halványszürke elnyelési vonalat látni, mind a kétszer a foltok közelében. Azt, hogy a többi héliumvonalak is hasonlóképpen viselkednek-e, még nem tudjuk bizonyosan, de valószínű. A hélium elnyelési vonalainak hiányát abból a körülményből könnyen megmagyarázhatjuk, hogy ez az elem aránylag csupán vékony réteget alkot a fotoszféra fölött. Régebben a jelenség magyarázatára többször azt a föltevést koczkaztatták meg, hogy a hélium, ellentétben a KIRCHHOFF-féle törvénnyel, nem nyel el fényt. Ennek helytelensége — nem tekintve e fölötté valószínűtlen ellenmondást — abból a tényből derült ki, hogy sok csillag színpéjében sötét héliumvonalak vannak.

A kalcium-vonalak a Nap peremén gyakran közepükben fekete megfordított vonallal jelennek meg, éppen úgy, mint a nátrium- és mágnezium-vonalak, mikor kitöréses protuberanciában válnak láthatóvá.

Ha protuberancia van a fotoszféra ama helyén, melyre a rést irányítottuk, akkor a kromoszféra vonalai meghosszabbodva jelennek meg, a protuberancia magasságának megfelelően. Magasságuk azonban nem mindig egyenlő. Így pl. a  $H$  és  $K$  kalcium-vonalak mindig magasabbak, mint a szomszédos  $H\epsilon$  hidrogén-vonal; a vörös  $H\alpha$  hidrogén-vonal is magasabb, mint a  $H\epsilon$ . Ez a körülmény azzal magyarázható meg egyszerűen, hogy ezen vonalak fényessége tetemesen erősebb, mint a  $H\epsilon$  vonalé. Rendesen a protuberanciák fényessége fölfelé csökken, a gyöngébb vona-



laknak tehát előbb kell eltűnniök s a jelenség csupán fiziológiai természetű. A nap-perem minden más vonalától eltérően viselkedik a  $\lambda$  5316·9, vagy 1474  $K$  vonal (a KIRCHHOFF-féle nap-színkép skáláján elfoglalt helyzete után így jelölve). Ez a vonal mindig messzebbre terjed, mint a kromoszféra-vonalak, függetlenül a protuberanciáktól; a vonal a koronához tartozik, a melyben teljes napfogyatkozások alkalmával mindenütt található. Ezért nevezik korona-vonalnak s a neki megfelelő, a Földön eddig föl nem lelt elemet pedig koróniumnak.

Az összes FRAUNHOFER-féle vonalaknak emissziós-vonalakba való megfordulását eddig még csak nagyon ritkán sikerült észlelni, kivéve teljes napfogyatkozásokkor, miként azt már említettük. YOUNG magas hegyen észlelte ezeket, hol a levegő nyugtalansága nagyon csekély volt. Ő összeállította azoknak a vonalaknak a jegyzékét, a melyek fényeseknek mutatkoznak a kromoszféra oly pontjain, hol kitöréses protuberanciák vannak jelen, azaz a hol a fotoszféra izzó gázai a fotoszféra színe fölé emelkednek. Az illető elemekkel való azonosítás később történt. YOUNG a megfordított vonalak megjelenésének viszonylagos gyakoriságát százalékokban adta meg (a mindig észlelhető vonalak gyakoriságát 100-nak vette).

A következő táblázat  $\lambda$ -val jelölt oszlopa tartalmazza a hullámhosszakat a vöröstől kezdődőleg, a  $H$ -val jelölt oszlop a megjelenés viszonylagos gyakoriságát, a következő oszlop azt az elemet, a melyhez a vonal tartozik. Az utóbbi pontra vonatkozólag megjegyezzük, hogy némely esetben két elem vonalaival való megegyezés szerepel; ilyenkor mind a két elemet megnevezzük. A hullámhossz elé helyezett csillag azt jelenti, hogy az illető vonal a nap-színképben nem ismeretes mint elnyelési vonal.

$\lambda$	$H$	Elem	$\lambda$	$H$	Elem	$\lambda$	$H$	Elem
*7065·5	100	He	6214·9	1 ?		*5876·0	100	He
*6678·3	25	He	6200·5	2 Fe		5853·9	8	Ba
6563·1	100	H( $\alpha$ )	6191·8	10 Fe		5709·6	1	Fe
6516·3	15 ?		6177·0	1 Ni		5688·4	2	Na
6497·1	18	Ba	6175·5	1 Ni		5684·7	5 ?	
6495·2	2	Fe	6173·6	1 ?		5682·9	2	Na
6462·8	5	Fe, Ca	6167·8	4 ?		5669·2	2 ?	
6456·6	15 ?		6162·4	5 Ca		5667·7	1	Fe
*6451·2	1	Ba	6160·9	1 Na		5662·8	15	Fe
6439·3	—	Ca, Cd	6154·4	1 Na		5658·1	8	Yt ?
6439·2	10 ?		6149·4	5 ?		5655·7	2	Fe
6417·1	5 ?		6148·0	5 Fe		5641·7	1	Fe
6411·5	1 ?		6141·9	15 Ba, Fe		5638·5	1	Fe
6400·2	4	Fe	6137·9	2 Fe		5624·8	2	Fe, Va
6393·8	5	Fe	6136·8	2 Fe		5615·9	2	Fe
6371·6	5 ?		6128·1	1 Ni		5589·0	2	Ca
6369·7	5 ?		6122·4	5 Ca		5586·9	2	Fe
*6357·0	1 ?		*6155·0	3 ?		5535·1	50	Fe
*6355·4	1 ?		6133·5	1 ?		5528·6	40	Mg
6351·5	1 ?		*6111·0	2 Ba		5519·8	15	Ba
6347·3	10 ?		6103·5	2 Fe		5507·0	2	Fe
6337·0	1	Fe	6102·9	2 Ca		5501·7	2	Fe
6335·6	1	Fe	6102·4	2 Fe		5497·7	2	Fe
6318·2	1	Fe, Ca	6084·3	3 ?		5481·1	2	Ti, Sr, Fe
6302·7	1	Fe	6065·7	5 Fe		5477·1	1	Ni
6301·7	1	Fe	6042·3	1 Fe		5473·4	3 ?	
6247·7	10 ?		6027·3	1 Fe		5463·5	1	Fe
6238·6	10 ?		6024·3	1 Fe		5455·8	10	Fe
6232·8	5	Fe	6022·0	1 Mn		5447·1	10	Fe
6231·0	2	Fe, Va	6020·3	3 Fe		5436·3	5	Zn, Br, Fe
6221·5	1 ?		5991·6	15 ?		5434·7	2	Fe
6221·0	1 ?		5914·4	2 Fe		5432·7	8 ?	
6219·5	3	Fe	5896·2	25 Na		5429·9	8	Fe, Ti
6216·5	3	Va	5890·2	25 Na		5425·4	25	Ba, Ti, S
6215·2	2	Fe	5884·1	1 Fe		5419·0	5	Ti, Mn



$\lambda$	$H$	Elem	$\lambda$	$H$	Elem	$\lambda$	$H$	Elem
5415·4	2	<i>Fe, Va</i>	5270·5	5	<i>Fe, Ca</i>	5189·0	10	<i>Fe, Ca</i>
5413·3	4	<i>Mn</i>	5269·7	10	<i>Fe</i>	5188·1	1	<i>Fe</i>
5411·1	2	<i>Fe, Ni</i>	5266·7	5	<i>Fe, Co</i>	5186·1	2	<i>Ti</i>
5410·0	2	<i>Cr</i>	5265·0	3	?	5183·8	50	<i>Mg</i>
5406·0	2	<i>Fe</i>	5260·5	1	<i>Ca</i>	5172·9	50	<i>Mg</i>
5404·1	5	<i>Fe, Ti</i>	5260·0	1	?	5169·2	40	<i>Fe, Ni</i>
5400·2	2	<i>Mn, Fe</i>	5257·1	2	<i>Sr</i>	5167·6	20	<i>Mg, Fe</i>
5397·4	4	<i>Fe</i>	5255·1	1	<i>Fe, Cr</i>	5165·2	3	<i>C ?</i>
5393·5	2	<i>Fe</i>	5249·8	3	?	5158·2	1	<i>Ni</i>
5381·2	3	<i>Ti</i>	5247·8	2	<i>Cr</i>	5153·5	2	<i>Na, Cü</i>
5371·7	10	<i>Fe, Ni, Cr</i>	5240·0	3	?	5151·0	1	<i>Fe, Mn</i>
5370·2	1	<i>Fe</i>	5238·9	1	<i>Sr</i>	5149·2	2	<i>Na</i>
5367·7	1	<i>Fe</i>	5237·5	4	?	5143·0	2	<i>Fe, Ni, Al</i>
5365·1	1	<i>Fe</i>	5234·8	10	?	5133·9	1	<i>Fe</i>
5363·0	20	<i>Fe, Co</i>	5233·1	1	<i>Fe</i>	5131·8	1	<i>Fe</i>
5361·8	1	?	5299·5	1	<i>Sr</i>	5130·6	2	<i>Ni ?</i>
5353·6	2	<i>Fe, Va, Co</i>	5227·2	3	<i>Cr</i>	5129·5	1	<i>Ni</i>
5346·0	1	<i>Cr</i>	5226·7	5	<i>Ti</i>	5127·5	1	<i>Fe</i>
5342·8	1	<i>Co</i>	5225·1	2	<i>Cr, Sr</i>	5126·4	1	<i>Fe</i>
5341·3	2	<i>Mn, Fe</i>	5217·6	2	<i>Fe</i>	5125·2	1	<i>Fe</i>
5336·9	5	<i>Ti</i>	5216·5	3	<i>Fe</i>	5123·5	2	<i>Yt, Al ?</i>
5330·1	5	<i>Fe, Ti</i>	5215·4	1	<i>Fe</i>	5121·8	1	<i>Fe, Ti</i>
5329·4	1	<i>Ti</i>	5211·7	1	?	5120·6	1	<i>Ti</i>
5328·7	3	<i>Fe</i>	5210·6	1	<i>Ti</i>	5114·4	3	?
5328·2	3	<i>Fe</i>	5208·8	4	<i>Cr</i>	5112·3	2	?
5325·4	2	<i>Ti, Co</i>	5208·6	4	<i>Fe</i>	5107·8	1	<i>Fe</i>
5321·0	2	?	5206·2	4	<i>Cr</i>	5098·8	1	<i>Fe</i>
5320·2	2	<i>Fe, La</i>	5205·9	1	<i>Yt</i>	5097·2	1	<i>Fe</i>
5316·8	100	Korónium	5204·7	4	<i>Cr</i>	5087·6	2	<i>Fe, E</i>
5313·8	1	?	5202·5	4	<i>Fe</i>	5084·3	1	<i>Zn</i>
5292·7	1	<i>Fe</i>	5200·4	2	<i>Yt</i>	5079·0	1	<i>Fe</i>
5284·2	10	?	5198·9	1	<i>Fe</i>	5048·2	2	<i>He ?</i>
5276·2	10	<i>Fe, Cr</i>	5197·8	15	?	5041·8	2	<i>Ca</i>
5275·2	1	<i>Cr</i>	5196·0	1	?	5041·2	2	<i>Fe</i>
5274·5	1	?	5195·1	2	<i>Fe, Va</i>	5031·3	4	?

$\lambda$	$H$	Elem	$\lambda$	$H$	Elem	$\lambda$	$H$	Elem
5024.2	3	?	4556.2	10	<i>Fe, Ti</i>	4384.1	1	?
5018.5	30	<i>Fe, Ni</i>	4554.2	10	<i>Ba</i>	4383.7	1	<i>Fe</i>
*5015.9	30	<i>He</i>	4552.7	1	<i>Fe, Ti</i>	4381.1	1	?
4934.2	30	<i>Ba</i>	4549.8	10	<i>Fe, Ti</i>	4379.6	1	<i>Ca</i>
4924.1	40	<i>Fe</i>	4540.0	2	<i>Ce</i>	4376.1	5	<i>Fe</i>
4922.3	30	<i>He</i>	4536.2	2	<i>Ti, Ca</i>	4374.8	8	<i>Fe, E</i>
4919.8	20	<i>Fe</i>	4534.2	5	<i>Fe</i>	4359.8	1	<i>Cr</i>
4912.3	3	<i>Fe, Zn</i>	4533.4	3	<i>Fe?Ti, Ca</i>	4352.4	3	<i>Cr</i>
4900.3	30	<i>Ba, Yt</i>	4525.3	3	<i>Ba, Fe</i>	4340.7	100	<i>H(\gamma)</i>
4883.9	10	<i>Ce</i>	4522.9	3	<i>Fe, Ti</i>	4339.0	10	<i>Cr</i>
4870.4	5	?	4514.5	2	?	4335.8	2	<i>La</i>
4861.5	100	<i>H(\beta)</i>	4513.9	1	<i>Fe?</i>	4324.7	1	?
4855.5	5	<i>Fe, Ni, E</i>	4506.9	2	?	4321.1	1	<i>Ti, Fe</i>
4848.7	3	<i>Fe, Ca</i>	4501.4	15	<i>Ti</i>	4314.5	1	<i>Ti</i>
4827.0	1	<i>Fe?</i>	4491.5	20	<i>Mn</i>	4307.9	3	<i>Ca</i>
4824.3	10	<i>Fe?</i>	4490.2	15	<i>Fe, Mn</i>	4302.7	3	<i>Ca, Fe</i>
4805.3	3	<i>Ti?</i>	4481.7	5	<i>Fe, Mg</i>	4298.5	1	<i>Ca, Fe</i>
4779.7	3	<i>Fe, Co</i>	4471.8	100	<i>He</i>	4289.9	1	<i>Cr</i>
4731.7	1	<i>Fe</i>	4469.5	20	<i>Fe, Ti</i>	4275.0	2	<i>Cr, Ca</i>
4713.4	2	<i>He, Ca</i>	4447.1	1	<i>Fe, Ti</i>	4260.6	2	<i>Fe</i>
4667.5	3	<i>Fe, Ti</i>	4443.5	10	<i>Fe, Ti</i>	4245.5	30	<i>Fe</i>
4664.2	2	?	4437.2	1	<i>Mn?Fe, He</i>	4236.1	30	<i>Fe</i>
4657.1	2	<i>Ti</i>	4434.0	1	<i>Fe</i>	4233.8	15	<i>Fe, Ca</i>
4629.5	15	<i>Co, Ti</i>	4426.6	2	?	4226.9	3	<i>Ca</i>
4629.0	2	<i>Ce</i>	4425.6	2	<i>Ca</i>	4215.7	40	<i>Sr</i>
4621.1	1	?	4419.0	2	?	4179.5	1	?
4590.1	1	<i>Ti?</i>	4418.3	3	<i>Ti</i>	4167.4	1	<i>Ca</i>
4588.4	2	<i>Cr?</i>	4415.3	1	<i>Fe</i>	4101.9	100	<i>H(\delta)</i>
4584.1	15	<i>Fe</i>	4408.6	1	<i>Fe, Ca</i>	4077.9	25	<i>Ca</i>
4576.6	4	?	4404.3	1	<i>Fe</i>	4046.0	3	<i>Fe</i>
4572.2	10	<i>Ti</i>	4398.9	1	<i>Ti, Ce</i>	3991.0	2	?
4565.8	10	<i>Fe</i>	4397.2	1	?	3971.0	2	<i>Fe</i>
4563.9	10	<i>Ti</i>	4395.2	15	<i>Fe</i>	3968.6	100	<i>H(\epsilon), Ca</i>
4560.3	8	<i>Fe</i>	4389.5	1	<i>Fe</i>	3933.8	100	<i>Ca</i>
4558.9	8	?	4385.4	8	<i>Ca, Ce, Fe</i>			



Később HALE és DESLANDRES folytatták a kromoszféra vonalainak jegyzékét az ibolyántúli részben  $\lambda$  3630 hullámhosszig. Ez a jegyzék azonban a mi számunkra kevésbé érdekes, mert hiányzanak a gyakorisági számok. Az ebben a részben bizonyossággal kimutatott elemek a kalcium, magnézium, hélium, vas és főképpen a hidrogén, melynek teljes vonalsorozata van meg.

A YOUNG-féle jegyzéknek 300-nál több vonalából mintegy 60, tehát az összes vonalak 20%-a nem azonosítható ismert elemekkel. De néhány más vonalnál is bizonytalan az azonosítás, különösen, ha valamely elemnek csak kevés vonala jelenik meg. Biztos tényként állíthatjuk, hogy a kromoszférában a következő elemek vannak mindig jelen: hidrogén, hélium, korónium, kalcium. Azonban a hidrogén kivételével ezen elemeknek nem valamennyi vonala van mindig jelen. A héliumnak csak két vonalánál szerepel a 100 mint gyakoriságszám, kettőnél 30 és 25 s a többi vonalaknál egészen kicsiny számok szerepelnek.

A koróniumról semmit sem mondhatunk, minthogy a korona-vonalon kívül egyéb vonalakat nem ismerünk. A kalciumnak két *H* és *K* vonala mindig jelen van. A 25, 10 és 8 gyakoriságszámok mindegyike egyszer-kétszer előfordul, a többi 20 vonal gyakoriságszáma 5 és 1 között váltakozik. A magnézium szintén kevés vonallal szerepel, de gyakoriság dolgában az eddig felsorolt elemek után közvetlenül következik. Két vonal gyakoriságszáma 50 s egy-egy további vonalé 40, 20 és 5. A vas 145 vonallal szerepel, közülök azonban 100 vonalnak gyakoriságszáma csak 1 és 4 között feszik. Az 50 előfordul egyszer, a 40 kétszer, a 30 háromszor, a 20 négyszer, a 15 hatszor, a 10 tizenkétszer, a 8 négyszer és az 5 tizennégszer. A ritkán észlelt gyöngébb vasvonalak azonosítása nagyon bizonytalan, mert más elemek vonalai gyakran igen közel egybeesnek velük, ilyenkor természetesen az utóbbiaknak azonosítása éppen olyan bizonytalan marad. A vassal rokon elemek közül a nikkelnak vannak a legnagyobb gyakoriságszámai; de éppen a leggyakrabban megfigyelt vonalak esnek közel egybe a vas vonalaival. A nikkelnél a 40, 30, 10 és 5 gyakoriságszámok mindegyike egyszer fordul elő, kisebb számok kilencszer. A vassal rokon titánium is nagyon sok vonallal szerepel, a melyek közül egynek a gyakoriságszáma 25, kettő-kettőé 20 és 15, öté 10 és egyé 8; 26 más vonal gyakoriság-

száma kisebb. Az ugyanehhez a csoporthoz tartozó króm is számos vonallal van képviselve, közülök azonban csak háromnak a gyakoriságszáma 10, míg a többi 15 vonalat csak ritkán figyelték meg. A mangánnak kilencz vonalát észlelték, egyet-egyét 20, 15, 5 és 4 gyakorisággal, a többieket 1 és 2 kettő gyakorisággal. A kobalt 7 vonala mind egybeesik más fémek vonalaival, különösen a vas vonalaival, úgy hogy e fém jelenléte kétséges marad, bár gyakoriság számuk 20 és 15, melyek egyszer-egyszer fordulnak elő.

A nátrium 2 fővonala az összes esetek 25%-ában fordul elő, a többi hat gyöngé vonal csak ritkán. Nagyon gyakori a bárium is, melynél két vonalának gyakorisága 30, egy-egy 25 és 18 s kettő-kettő 15, 10 és 8. A stroncium biztosan ki van mutatva 6 vonallal, közülök ötnek gyakoriságszáma kicsiny ugyan, de egy vonalé 40. A cerium is bizonyosan jelen van, mert négy vonala közül kettő-kettőnek a gyakorisága 10 és 8 és a fővonala nem esik össze valamely más fém vonalával. A vanádium hat ritkán megfigyelt vonallal kétséges marad, éppen úgy a zink két vonallal. Az yttrium lehet hogy előfordul; öt tekintetbe jövő vonala közül kettőnek a gyakorisága 30 és 8, de éppen a fővonala az egyik báriumvonallal esik össze.

Az elmondottak szerint a következő elemek vannak bizonyosan jelen a kromoszférában, illetve bizonyos protuberanciákban, a mi más szóval annyit jelent, hogy bizonyos különös körülmények között a fotoszféra általános színe fölé kerülhetnek: hidrogén, hélium, kalcium, magnézium, bárium, stroncium, nátrium, cérium, vas, mangán, krom, nikkel, titánium. Kétségesek maradnak: a kobalt, yttrium, vanádium és a zink.

A kalciumvonalakról mondtak után magától értetődő, hogy az elősorolt elemeknek nem valamennyi vonala egyformán gyakori, mert gyöngé vonalak természetesen nehezebben észlelhetők, mint a fényes vonalak. Pontosabb vizsgálat azonban azt mutatja, hogy a vonalak intenzitása, a mint pl. az ívfényszínképben mutatkozik, semmiképpen sem egyedül mértékadó a kromoszféra színképében való megjelenés gyakoriságára nézve. Így pl. némely erős vasvonal hiányzik, más gyöngébb vonalak előfordulnak. E jelenség magyarázatára LOCKYER vizsgálati módszere alkalmas, mely a hosszú és rövid vonalak módszere néven ismeretes.



Ha spektroszkóp részére lencse segítségével vetítjük oly elektromos ívfény képét, a melyben valamely fém, pl. vas, párolog el, akkor azt vesszük észre, hogy egyes vonalak hossza megegyezik az ívfény képének hosszával, míg mások rövidebbek. Általában a színekép középső része sokkal gazdagabb vonalakban, mint a szélek. A jelenség azzal magyarázható meg könnyen, hogy az ívfény külső részei lényegesen hidegebbek, mint a belsők s hogy bizonyos vonalak, t. i. a hosszúak, ezen alacsony hőmérséklet mellett is megjelennek, míg mások, t. i. a rövidek, csak a belső ívfény magasabb hőmérséklete mellett mutatkoznak.

Kitűnt, hogy túlnyomóan a hosszú vonalak jelennek meg a kromoszférában fényes vonalak alakjában. Ebből azután azt kellene következtetni, hogy a kromoszféra hőmérséklete alacsonyabb, mint a fotoszféráé, illetve a megfordító rétegé, melyben hosszú és rövid vonalak észlelhetők. Ez a következtetés teljesen elfogadhatónak látszik.

Ha a protuberanciák alakját és alakváltozásait akarjuk tanulmányozni, akkor csak a spektroszkóp részét kell oly tágra kinyitnunk, hogy többé nem a rés, hanem a protuberancia képe szolgáljon fényforrással s így az illető vonal az illető protuberancia alakjában jelenik meg a spektroszkópban. Az eljárás a következő: refraktorra szerelt spektroszkóp részét a nap-perem olyan pontjára állítjuk be, melyen protuberancia van jelen. Ekkor a megvilágított földi légkör folytonos színeképén a protuberancia *fényes* vonalai jelennek meg a protuberancia terjedelmével arányos hosszúságban. Ha a rést tágabbra nyitjuk, akkor ezek a vonalak kiszélesednek ugyan, de többet nem szélesedhetnek, mint a mennyi a protuberancia szélességének megfelel. Eszerint a keskeny helyeken arányosan keskenyek maradnak, más szóval, ha a rés eléggé tágra van nyitva, akkor a színeképvonal a protuberancia alakját ölti magára. De mennél tágabb a rés, annál inkább növekszik a folytonos színekép fényessége, úgy hogy végül fényesebb a protuberanciánál s el is tűnik szemeink elől. Ezt csak a szórás növelésével lehet ellensúlyozni, mert ezáltal meghosszabbítjuk a színeképet s fényességét ennélfogva csökkentjük, miközben az egynemű fényben megjelenő protuberancia fényereje

nem szenved változást. Ezért szükséges, hogy a protuberanciák észlelésére szánt spektroszkópok szórása nagyon erős legyen, míg szerkezetük egyébiránt tetszőleges lehet. Czélszerű az észlelésnél a rést nem merőlegesen állítani a Nap peremére, hanem érintői irányban, mert különben könnyen megtörténik, hogy a Nap fényes színe mindent elnyom. Megfigyelni természetesen minden fényes színképvonallal lehet. De a gyakorlatban mégis csak kevés vonal jöhet szóba. Minthogy hidrogén, hélium és kalcium minden protuberanciában jelen van, a többi fémek pedig csak bizonyos fajta protuberanciákban, ezért általában csak e három elem vonalait fogjuk a megfigyelésre felhasználni. Optikai megfigyelésre legalkalmasabb a hidrogén  $H\alpha$  vonala, mert nagyon fényes és a háttértől jól különvlik. A hidrogén vonalai között ez a legfényesebb s ezért a legélesebb protuberanciaképeket szolgáltatja. A többi hidrogénvonal élessége az ibolyaszín felé mindinkább fogy, ezért a kék és ibolyaszín hidrogénvonalak kevésbé alkalmasak fotografálásra. Erre a célra most már csakis a kalcium  $H$  és  $K$  vonalai jöhetnek szóba. A héliumnak  $D_3$  kettős vonala nem nagyfényessége és nem elegendő élessége miatt szintén nem alkalmas az észlelésre. A protuberanciákat vagy közönséges spektroszkóppal fotografálhatjuk le, vagy sokkal czélszerűbben spektrohéliográffal, a mikor a napperem összes protuberanciáinak egyidejűleg kapjuk a képét.

A protuberanciák rendkívül változó alakulatok. Keletkezésük és elmúlásuk gyakran néhány óra alatt megy végbe. A legkülönfélébb alakokban fordulnak elő, kezdve az egyszerű lebegő felhőn egészen a kitörésszerű jelenségig. Alakjaikat különböző osztályokba próbálták sorozni, de ennek célja csupán a könnyebb áttekintés és jobb leírás lehet.

A legegyszerűbb, ha két osztályba osztjuk őket, a melyekben a protuberanciák színe s így eredetük is, vagy legalább is az előidéző ok intenzitása különböző. Az első osztályba tartoznak a felhőszerű protuberanciák, a melyek csupán a kromoszféra kiemelkedései s a kromoszférához hasonlóan csak héliumból, hidrogénből és kalciumból állanak. A második osztályba sorozhatjuk a kitörésszerű protuberanciákat. Ezeknek előidéző oka oly mélyen fekszik, vagy annyira intenzív, hogy más elemek is kerülnek felszínre, a minőket a



YOUNG-féle jegyzék felsorol. A felhőszerű protuberanciáktól abban különböznek, hogy sohasem érnek el valami különösen nagy magasságot. Színük fehér, mert a színekép összes színeit tartalmazták, míg a felhőszerű protuberanciák vörösek, a vörös C vonal ( $H\alpha$ ) túlnyomó intenzitása következtében.

A protuberancia-jelenségeknek most következő általános leírását a SECCHI-féle nagyszámú megfigyelésekre alapítjuk, melyeket SECCHI kedvező légköri viszonyok közt végzett. Ezekhez hozzáveszünk néhány fotografiai és spektrohéliografiai úton kapott eredményt.

Ha a rést a nap-peremhez érintői irányban állítjuk, akkor a kromoszféra a C-vonalban mint vörös réteg látszik, melynek vastagsága  $10''$  és  $15''$  között váltakozik, a mi 7000—11 000 kilométerrel egyenlő. Külső széle néha síma, gyakran pedig kifoszlott s kis kiemelkedéseket tüntet fel, a melyeket már kis protuberanciáknak lehet tekinteni, mielőtt észrevehetően emelkednek a kromoszféra fölé. A protuberanciák a nap-perem minden pontján jelenhetnek meg, tehát a sarkokon is. De leginkább ott jelentkeznek, a hol éppen fáklyák vagy foltok vannak. Azt, hogy mily mértékben van ez így, a RICCO-tól 1880-tól 1890-ig észlelt protuberanciák számának következő összeállítása mutatja:

Héliografiai szélesség	Protuberanciák száma	Héliografiai szélesség	Protuberanciák száma
+ $90^{\circ}$ — $80^{\circ}$	24	— $0^{\circ}$ — $10^{\circ}$	528
+ $80^{\circ}$ — $70^{\circ}$	84	— $10^{\circ}$ — $20^{\circ}$	611
+ $70^{\circ}$ — $60^{\circ}$	160	— $20^{\circ}$ — $30^{\circ}$	822
+ $60^{\circ}$ — $50^{\circ}$	433	— $30^{\circ}$ — $40^{\circ}$	707
+ $50^{\circ}$ — $40^{\circ}$	517	— $40^{\circ}$ — $50^{\circ}$	720
+ $40^{\circ}$ — $30^{\circ}$	638	— $50^{\circ}$ — $60^{\circ}$	447
+ $30^{\circ}$ — $20^{\circ}$	668	— $60^{\circ}$ — $70^{\circ}$	130
+ $20^{\circ}$ — $10^{\circ}$	593	— $70^{\circ}$ — $80^{\circ}$	57
+ $10^{\circ}$ — $0^{\circ}$	507	— $80^{\circ}$ — $90^{\circ}$	18

A maximumok e szerint a Nap két félgömbjén  $20^{\circ}$  és  $30^{\circ}$  szélesség között fekszenek, tökéletesen úgy, mint a foltoknál.

A protuberanciák száma a sarkok felé erősen fogy, az egyenlítő felé is, de sokkal csekélyebb mértékben, mint a foltoknál.

A foltoknál megfigyelt az a törvényszerűség, hogy a minimumig a foltok gyakoriságának közepes szélessége  $40^0$ -tól egészen az egyenlítő közelébe száll alá, hogy aztán a minimum után ismét magasabb szélességben vegye kezdetét, a protuberanciákon is tapasztalható, ha nem is oly szembetűnő módon. Erről a következő összeállítás tájékoztat, mely szintén a már az imént felhasznált észleléseken alapszik:

	1880. év	--- --	40·6 <sup>0</sup>	közepes	héliogr.	szélesség
	1881. »	--- --	37·1 <sup>0</sup>	»	»	»
	1882. »	--- --	34·7 <sup>0</sup>	»	»	»
minimum	1883. »	--- --	31·9 <sup>0</sup>	»	»	»
	1884. »	--- --	30·9 <sup>0</sup>	»	»	»
	1885. »	--- --	28·7 <sup>0</sup>	»	»	»
	1886. »	--- --	27·5 <sup>0</sup>	»	»	»
	1887. »	--- --	31·7 <sup>0</sup>	»	»	»
	1888. »	--- --	31·2 <sup>0</sup>	»	»	»
maximum	1889. »	--- --	35·9 <sup>0</sup>	»	»	»
	1890. »	--- --	41·3 <sup>0</sup>	»	»	»

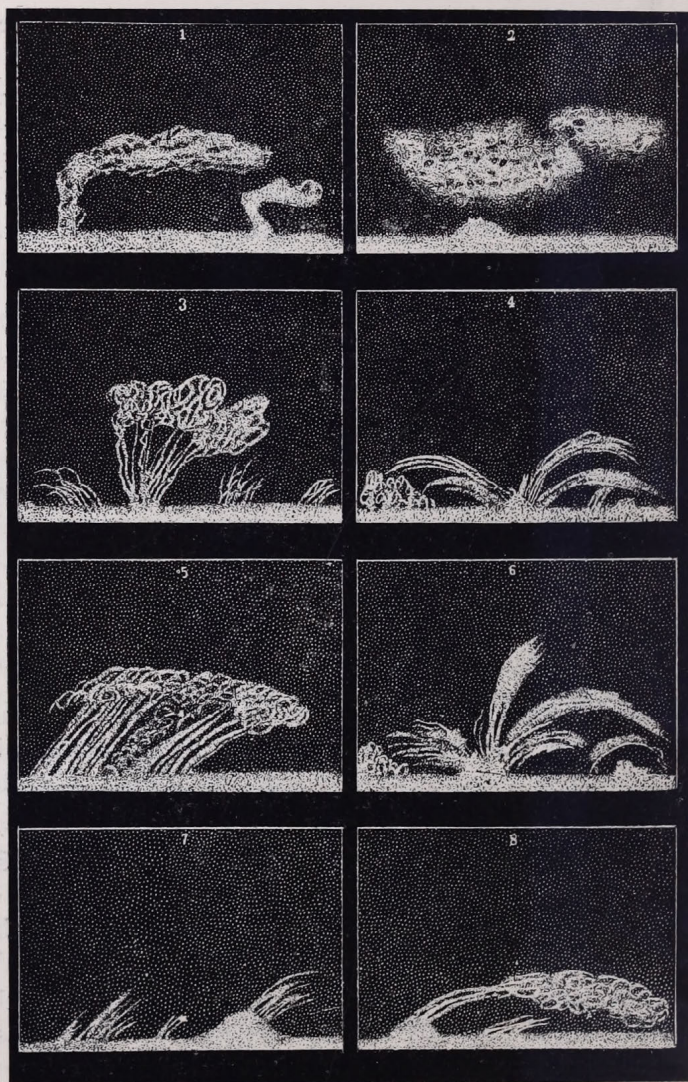
Eszerint kétségtelen, hogy a két jelenség között valamilyen összefüggés van. Azonkívül az is könnyen megállapítható, hogy a legfeltűnőbb protuberancia-jelenségek a fáklyák közvetlen környezetében jönnek létre.

A protuberanciák fényessége általában sokkal gyöngébb, mint a kromoszféráé s kifelé folyton csökken.

SECCHI szerint a protuberanciáknál a következő alakok különböztethetők meg:

1. *Gomolyszerű protuberanciák.* Ezek a kromoszféra helyenkénti kiemelkedései. Számos esetben a kromoszféra fényes összegyülemlésének látszanak, elmosódott határokkal s látszólag minden tagozottság nélkül; de erősebb nagyítás mellett részletek is felismerhetők. Ezek a protuberanciák nagyon fényesek s némelykor utoléri a kromoszféra fényességét. Néha más protuberanciáknak a kezdő vagy végső állapotát képviselik. Magasságuk aránylag csekély,  $30''$ — $40''$ , a mi 2200—2900 kilométerrel egyenlő. E protuberanciák legmagasabb pontjaiból néha igen fényes, lángalakú



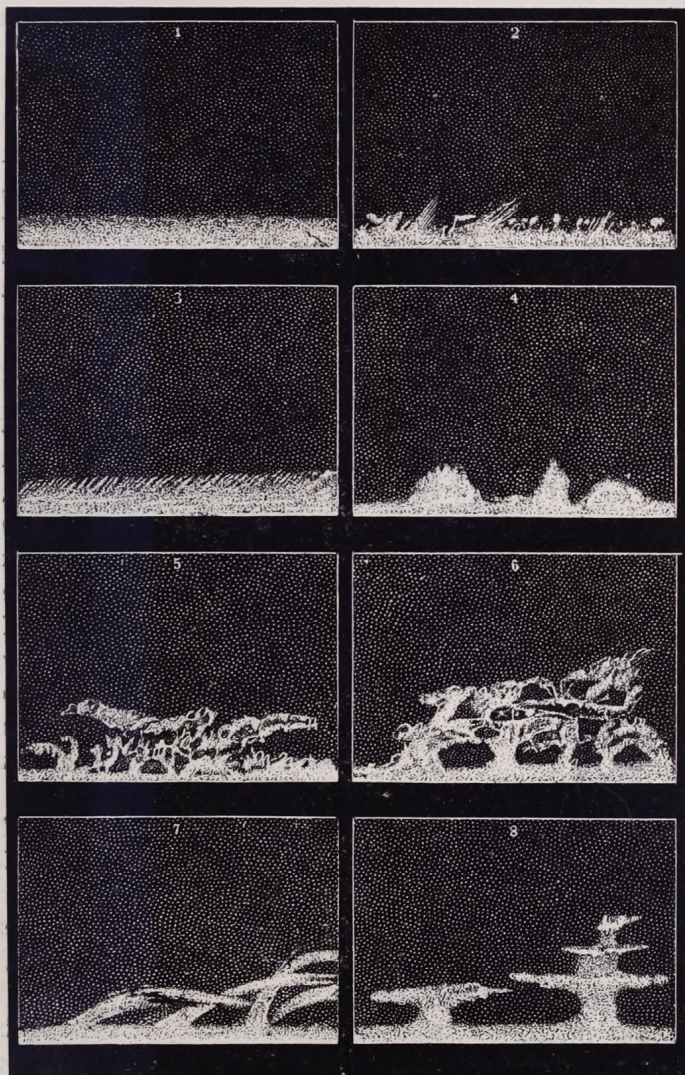


146. rajz.

képződmények törnek elő. A 146. rajzon ezen protuberanciák-  
nak különféle alakjait láthatjuk.

2. A ködszerű protuberanciák. Kétféle alakjuk különböztet-  
hető meg s mindegyik féleségük nagyon gyakran fordul elő,





147. rajz.

de csekély fényességük miatt nehezen megfigyelhetők. Az egyik alak egyes külön lebegő tömegekből áll, melyek könnyű kumulusz-felhőkhöz hasonlítanak. Főleg a sarkok közelében mutatkoznak mint fényes protuberanciák maradványai. A 147. rajz 5. számú



képen láthatjuk ezt a protuberanciaalakot. E rajz 4. képe a rendes kromoszférát mutatja be.

A második fajta protuberanciánál néhány meglehetősen fényes oszlop emelkedik ki a kromoszférából, melyek bizonyos magasságban bonyolult szerkezetű, finom, felhőszerű alakokká oszlanak széjjel. (A 147. rajz 6. számú képe és a IV. tábla 3. képe.) Ezek a protuberanciák többnyire nagy magasságot, 2'—3'-et érnek el, a mi 86 000—130 000 kilométerrel egyenlő. A fölszálló oszlopok és elágazásaik kedvező levegő mellett látszólag finom szálakból állanak. A felhőszerű felsőrészek ugyancsak ilyen egymást keresztező fonalakból állanak, melyeknek kuszátságában sokszor semmiféle rendet sem látunk, míg néha bizonyos irány túlnyomóan uralkodik, valószínűleg a Nap légkörében végbemenő áramlások következtében. E protuberanciák kiterjedése a szélesség irányában néha igen nagy; 6<sup>o</sup>-on is túl terjedhetnek, a mi 15 millió kilométernél is több. A protuberancia-tünemény lefolyása igen gyakran egyszerűbben megy végbe. A kromoszférából előretörő egy vagy két oszlop bizonyos magasságban messze oldalt terjed ki, hasonlóan a földi vulkánok kitöréseinél észlelhető fenyőfaalakú füstképződményhez. Az is előfordul, hogy az első kiszélesedésen túl emelkedik s még egy- vagy kétszer oldalt kiszélesedik (147. rajz 8. képe és IV. tábla 1. képe). Gyakran észlelhető, hogy mint tűnik el a protuberancia eredeti oszlopa, míg a felső rész, mint magános felhő marad vissza.

3. *Sugaras protuberanciák.* Néha igen fényes, egyes világító fonalakból összetett tömegek lövelltetnek a kromoszférából fölfelé minden irányban. Ezek sokszor fényesebbek, mint maga a kromoszféra s alsó részükben jól észrevehető fonálszerű szerkezetük van. A magasban kiszélesednek s SECCHI szerint gyönyörű tűzijáték fénykévéjéhez hasonlítanak.

Ezek a protuberanciák többnyire a foltok tájékán láthatók, vagy pedig olyan fáklyák fölött, melyek valamely foltcsoport magvai között vannak elhelyezve. Keletkezésük és elmúlásuk nagyon rövid idő alatt megy végbe. Az V. tábla 4. számú szép protuberanciáját SECCHI észlelte 1871. július 1.-én; 35" (25 000 km) magasságot ért el, de már tíz perc múlva eltűnt. Közvetlenül ezután ugyanezen a helyen új protuberancia keletkezett (V. tábla, 6. kép), mely egyenesvonalú, élesen határolt sugarakból állott.

A leghosszabb sugár terjedés-sebessége 150 kilométert tett ki másodpercenként; de néhány perc alatt ez a protuberancia is eltűnt. Ilyen egyenes sugarakat csak ritkán lehet megfigyelni, ellenben gyakran látunk olyan alakokat, mint az V. tábla 5. képén, hol a sugarak görbék, még pedig némelykor annyira, hogy ismét visszatérnek a felülethez.

4. A kéveprotuberanciák közel rokonok a sugaras protuberanciákkal. Tőlük azonban abban különböznek, hogy fényük csekélyebb, élettartamuk hosszabb, magasságuk tetemesen nagyobb, felső részük felhőkké oszlik széjjel s hogy némelykor rengeteg



148. rajz.

kiterjedésűek. Azonkívül a napperem minden pontján előfordulhatnak, míg a sugaras protuberanciák csupán foltok közelében találhatók. A legnagyobb magasság, melyet SECCHI ilyen protuberanciánál megfigyelt,  $4' 36''$ -et tett ki, a mi megfelel 200 000 kilométernek vagy a tizenháromszoros földátmérőnek.

Fölötte nagyszerű protuberancia-tüneményt figyelt meg FÉNYI 1900. június 1-én. A protuberancia folt közelében emelkedett s  $7' 11''$ -nyi (vagy 312 000 km) legnagyobb magasságát mintegy 15 perc alatt érte el. Az emelkedés közepes sebessége 334 km másodpercenként. A kéveprotuberanciák csoportjába tartozott. Összefüggése a kromoszférával már megszűnt, mielőtt még legnagyobb magasságát elérte volna. Az, hogy e protuberancia magassága mily óriási volt, legjobban abból tűnik ki, hogy csak mintegy  $\frac{1}{5}$ -el volt kisebb, mint a Holdnak tőlünk való távolsága.

A protuberanciák előbbi leírásai vagy tisztán tipikus rajzok,



vagy pedig távcső segítségével készült rajzok, melyeket nagy sietésben kellett papirosra vetni s így a rajzoló képzeletének mégis valami szerepe lehetett. Ezért néhány fotografiát is közlünk, melyeknek megegyezése a valósággal nem vonható kétségbe.

A VI. táblán látjuk egy protuberancia-csoport fotografiáját, melyet BARNARD és RITCHEY készítettek az 1893. április 16.-iki teljes napfogyatkozás alatt, még pedig  $61\frac{1}{2}$  láb gyújtótávolságú távcsővel 6 hüvelykes nyílás mellett. A kétoldalt levő protuberancia a sugarasakhoz tartozik, a középső pedig a ködszerűekhez. Azt, hogy a protuberancia milyen alakú széles réssel előállított színekben, igen jól láthatjuk a 149. rajzon. A HALE-től 1891. október 20.-án készített fotografián protuberanciát látunk a mint a *H* és *K* kalciumvonalakban megjelenik.



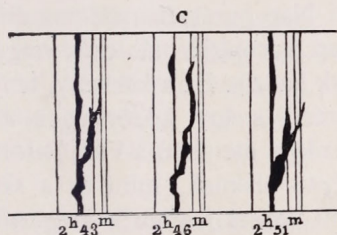
149. rajz.

A protuberanciáknak spektrohéliográffal készült fotografiái, a minőket jó levegőállapot mellett mindig készíthetünk, éppen olyan jól sikerülnek, mint a teljes napfogyatkozások alkalmával készült fotografiák. Így pl. HALE a *Keenwood*-obszervatórium spektrohéliográfiájával két fölvételt készített ugyanarról a protuberanciáról 1895. márczius 24-én. Az első kép 22 óra 40 perczkor készült. Kitéréses protuberanciát mutat, mely aránylag keskeny darabon ered. E helytől kétoldalt kezdődő kidudorodásnak gyöngye jele látható. A második kép 18 perczcel később készült s a közben bekövetkezett változások igen tetemesek. A protuberancia magassága majdnem megkétszereződött s az oldalt jelentkező kitérésnek teljes működésben láthatók.

A protuberanciák felfelé való szállásánál észlelt óriási sebességek, melyek gyakran oldalirányban is észrevehetők, arra a föltevésre jogosítanak, hogy a DOPPLER-FIZEAU elve alapján vonaleltolódásokat fognak okozni, a mennyiben a látóvonalba esnek. Valóban gyakran észleltek is ilyeneket az illető színek-vonalak erős torzításainak alakjában, a mi arra vall, hogy a protuberancia különféle részeiben a sebességek nagyon különböznek. A 150. rajzon láthatjuk a *C* vonal ilyenféle eltorzulását protuberanciánál, melyet 1870. szeptember 20.-án LOCKYER figyelt meg. Az ebből adódó sebességek egész 400 km-ig emelkednek

másodpercenként s így összhangban vannak a közvetetlen megfigyelés által talált értékekkel. Valóságos örvénylő mozgást is észleltek már a protuberanciáknál, mint pl. VOGEL 1871. június 3.-án (151. rajz).

A napperemnek eddig tárgyalt tünetényei majdnem kizárólag a kromoszféra és kiemelkedéseire vonatkoznak, azaz a Nap ama gázrétegére, mely főleg hidrogénből, héliumból és kalciumból áll. De már szóba került az úgynevezett megfordító réteg is, mely a fotoszféra fölött terül el nagyon csekély vastagságban s a mely úgy látszik, mindazokat az elemeket tartalmazza, a melyek a FRAUNHOFER-féle vonalakat idézik elő. Teljes nap-



150. rajz.

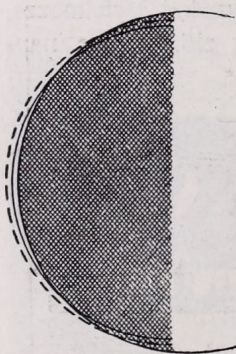


151. rajz.

fogyatkozások alkalmával néhány másodpercen át észlelhető ez a réteg, abban a pillanatban, mikor a Hold a túlvakító napkorongot eltakarja. Teljes napfogyatkozásokon kívül csak nagyon kedvező légköri állapot mellett észlelhető, tehát főleg magas hegyeken, igen nagy refraktorokkal, mert nagy napképeken természetesen ez a réteg is vastagabban jelenik meg s jobban látható. Az utóbbi években e réteg spektroszkópikus tanulmányozását rendkívül elősegítette az úgynevezett prizmaskamara alkalmazása teljes napfogyatkozásakor. A prizmaskamara oly fotografus kamara, mely egy vagy több prizma segítségével résnélküli spektroszkóppá van átalakítva. Itt résül maga a megfordító réteg szolgál, úgy hogy a színek vonalai e réteg alakjában, tehát mint körök vagy körívek jelennek meg. A fölvételeket közvetlenül a napkorong elfedése után kell készíteni, a hátul levő peremen pedig közvetlenül az előtűnés előtt. Teljes napfogyatkozások alkalmával a holdkorong mindig nagyobb, mint a napkorong, ezért a



holdkorong a tulajdonképpeni érintkező ponttól kétoldalt a megfordító rétegből és a kromoszférából többet takar el, mint magában az érintkezés pontjában. Ezzel aztán kényelmes eszközre tettünk szert a fotoszféra feletti különféle gázrétegek vastagságának meghatározására. Mennél hosszabb valamely színeképvonal (a réteg képe), annál magasabbra terjed a megfelelő gáz. Minthogy a megfordító réteg nagyon rövid ideig, majdnem villámszerűen jelenik meg, azért az ilyen színeképeket a villám angol neve után »flash«-színeképeknek nevezik.



152. rajz.

A megfordító réteg spektroszkópi megfigyelését némileg módosítani is lehet. Ennek magyarázatára szolgál a 152. rajz. Azt a pillanatot használjuk fel, mikor a holdkorong (a rajzon vonalkázva) a tulajdonképpeni Nap peremét majdnem érinti, úgy hogy a Nap korongja már csak nagyon keskeny sarlónak látszik. Ez a keskeny, fényes sarló szolgál résül s így közönséges napszínkép keletkezik, a melyben a FRAUNHOFER-féle vonalak olyan alakúak, mint ez a sarló.

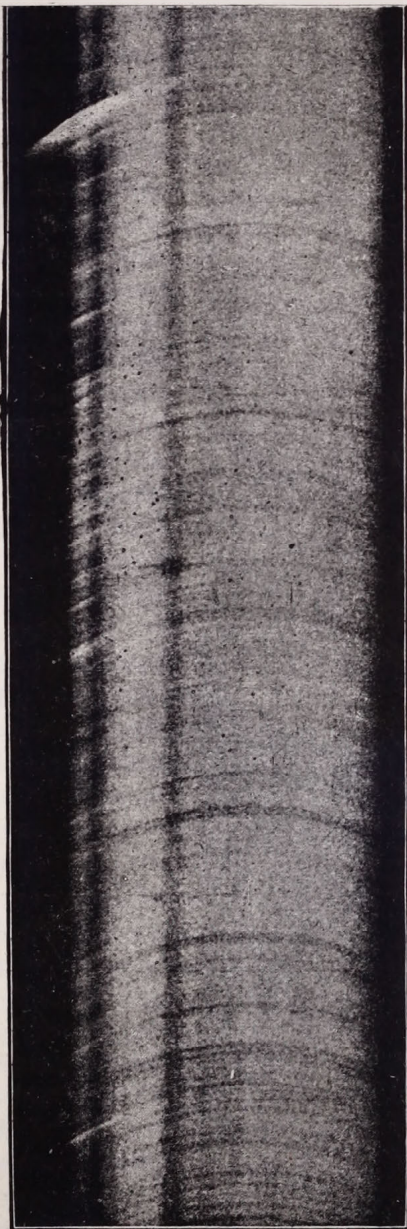
A pontozott vonal jelezze a megfordító réteget. A sarló két végén, a hol a Hold korongja a Nap korongját teljesen elfödi, a megfordító réteg rövid darabon a holdperemen kívül marad. Ennek megfelelően ott a FRAUNHOFER-féle vonalak végén a fényes megfordító vonalaknak kell megjelenniök, úgy hogy közvetetlenül megállapítható, melyik sötét vonalnál következik be a megfordítás jelensége.

A 153. rajzon igen jól látható ez a jelenség a vonalak felső végén. A színeképet FROST fotografálta le az 1900. évi május 28-i napfogyatkozás alkalmával. A fényes megfordított vonalak jobban láthatók, mint a megfelelő sötét vonalak. Különösen feltűnően széles és magas a lemez jobb széléhez közel eső  $H\gamma$  hidrogén-vonal (az ibolyaszínben). De ezen vonal hosszúsága a kromoszféra magasságával, míg a többi sokkal rövidebb vonal a megfordító réteggel arányos. Jól látható, hogy ezek a vonalak sem mind egyenlő magasak. A napszínképen végigvonuló hosszú sávokat a Hold peremén levő magas hegyek okozzák, melyeknek csúcsai már közel elérték a napperemet s így a sarlót

ezen a helyen erősen keskenyítették. Tiszta flash-spektrumot láthatunk a 154. rajzon, melynek eredetijét szintén FROST készítette ugyanezen fogatkozás alkalmával. Ez a színekép a második, a 155. rajzon levő színekép pedig a harmadik érintkezéskor készült. Ennél az utóbbinál már a napkorong keskeny sávja is előkerült s ez idézte elő a folytonos színekép középső fényes sávját. A hidrogén- és kalciumvonalak a kromoszféra alakját mutatják s körülbelül félkörök. A tulajdonképpeni flashvonalak sokkal rövidebbek és éleesebbek.

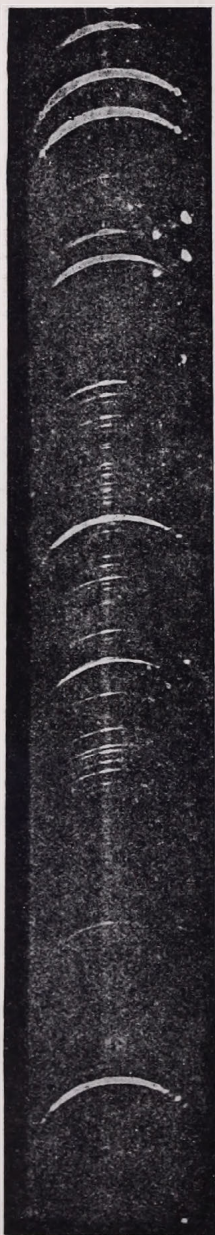
Az ezen úton eddig talált megfordított vonalak száma igen jelentékeny. Ezek főleg a már előbb elsorolt kromoszféra-vonalak. De arra lehet következtetni, hogy az összes erősebb FRAUNHOFER-féle vonalak 60–70%-a megfordul, még pedig 1''-nyi, mintegy 700 kilométerrel egyenlő magasságon belül. Annak, hogy nem valamennyi vonal látszik fényesnek, részben az az oka, hogy gyöngé fényűek, másrészt mindenesetre az, hogy az említett gázok nem terjednek ily magasságig.

A  $\lambda$  4934 és  $\lambda$  4000 hullámhossz közti 260 fényes vonal között, melyeket FROST



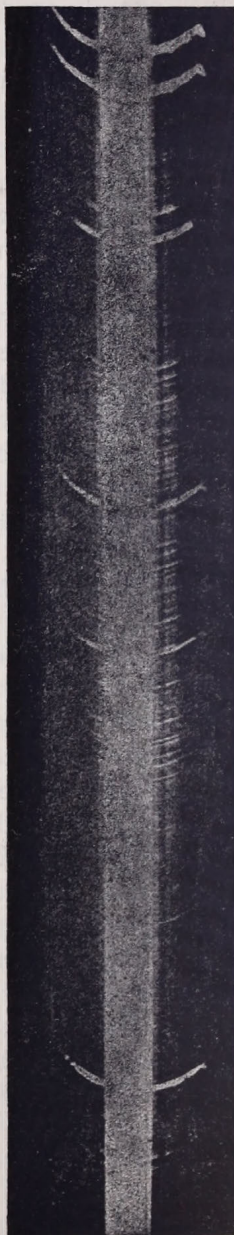
153. rajz.





154. rajz.

a ROWLAND-féle napszínképpel azonosítani tudott, 102 vasvonal volt, 23 a titániumé, 11 a krómé és 26-nak azonosítása két elem között kétséges maradt. Ennélfogva az összes megfigyelt vonalaknak több mint 60%-a e három elemhez tartozik. Öt-öt vonallal szerepel a kalcium, mangán, vanádium, négygyel a nikkel, skandium, zirkonium, hárommal a hidrogén, hélium, stroncium, lantán, kobalt és talán a szén; két vonallal szerepel a bárium s egygyel a cérium, neodymium és talán az yttrium. Van olyan 41 vonal, mely nincs azonosítva elemekkel még a napszínképben sem. A napszínképben a nikkelnek van másodhelyen a legtöbb vonala. Annak, hogy itt csak oly kevés jelenik meg belőlük, főleg az az oka, hogy a színkép megvizsgált részében csak kevés erősebb nikkelvonal van jelen. A mangánvonalak csekély száma azonban nem magyarázható ugyanezzel az okkal. Úgy látszik, hogy nem



155. rajz.

igazolódik be LOCKYERnek az a nézete, mely szerint a megfordított vonalak legnagyobb száma oly vonalakból kerül ki, melyek a szikraszínképben erősebbnek mutatkoznak, mint az ívfényszínképben.

Az a nagy szerep, mely a héliumnak a Nap gázai között jut, sejtetni engedi, hogy légkörünknek a héliummal rokon többi gázai is előfordulnak a Nap légkörében, legalább is azok, a melyeknek atómsúlya kicsiny. Valóban MITCHELL ama fotográfiái alapján, melyeket az 1901. május 18.-i napfogyatkozás alkalmával a flash-spektrumról készített, arra az eredményre jutott, hogy a neon és argon, melyeknek atómsúlya 20, illetve 40, több vonallal szerepel ebben a színképben, míg a krypton és xenonnal való azonosítás kétséges marad.

E helyütt még meg kell említenünk, hogy HALE teljes napfogyatkozásokon kívül a napperemen végzett megfigyelései alapján a szénszínkép nagyobb számú vonalait tudta biztonsággal azonosítani.

Említettük, hogy a flash-vonalak hosszából megállapítható a fotoszféra fölött levő izzó gágrétegek vastagsága. Csakhogy ez különös nehézségekbe ütközik, mert gyöngye vonalat természetesen nem lehet oly messze követni, mint erős vonalat, ennél fogva ugyanazon elemnek különböző vonalain végzett mérések különféle értékekre vezethetnek. Ha tehát tetemesen eltérő elemek magasságait akarjuk összehasonlítani, akkor tulajdonképpen csak egyenlő intenzitású vonalakat szabad felhasználni, a minek szigorú keresztülvitele azonban lehetetlen.

Igen szembetűnően láthatjuk ezeket a nehézségeket a következő táblázatban, melyet JEWELL készített. Az első oszlopban van az elem neve és atómsúlya, a másodikban a vonal hullámhossza. A harmadik oszlop kilométerekben adja meg azt a magasságot, a meddig a vonalnak megfelelően a gáz terjed.



Elem	Hullám-hossz	Magasság	Elem	Hullám-hossz	Magasság
Kalcium (40)	3933·8	24000	Titanium (48)	4395·2	4000
	3706·2	6400		4313·0	1600
	3737·0	6400		4590·1	1300
	4226·9	2400		4464·6	1300
	4455·1	1600		4387·0	320
	4456·0	240		4466·0	160
Hidrogén (1)	4456·8	160	Chrom (52)	4275·0	1900
	4340·6	12800		4254·5	1600
Hélium (4)	4471·7	12000		4558·8	1600
	4713·3	4800		4588·4	1600
	4388·1	2700		4280·2	160
Ismeretlen	4568·5	5300		4584·0	1600
	4685·5	2700	4233·3	1600	
	4362·8	2200	4260·8	1300	
	4253·4	800	4508·5	1000	
Magnézium (24)	3838·4	8000	4520·4	1000	
	4481·3	1600	4482·4	320	
Stroncium (87)	vagy több		Mangán (55)	4030·9	1300
	4215·7	5600		4451·8	160
	4305·6	320	Yttrium (88)	4575·1	1600
Bárium (136)	4554·2	2400		4398·2	320
	4525·3	240	Kadmium (112)	4678·4	200
Aluminium (27)	3961·6	2800	Czink (65)	4680·3	240
Ytterbium (172)				4722·3	240
Skandium (44)	3694·3	6400	Cyanogen	3883·5	1100
	4247·0	2800	Vanadium (51)	4579·4	320
Titanium (48)	4314·2	320		4390·1	160
	4468·7	5600	Nátrium (23)	5896·0	1600
	3913·6	4800		5890·0	

Abból a célból, hogy csak némileg is használható összehasonlításhoz jussunk, csupán azokat a magasságokat fogjuk felhasználni, melyek minden elem legfényesebb vonalához tartoznak

Magasságuk szerint rendezve az elemeket, a következő táblázathoz jutunk:

E l e m	Magas- ság	Atóm- súly	E l e m	Magas- ság	Atóm- súly
Kalcium ... ..	24000	40	Bárium ... ..	2400	136
Hidrogén ... ..	12800	1	Nátrium ... ..	1600	23
Hélium ... ..	12000	4	Vas ... ..	1600	56
Magnézium ... ..	8000	24	Yttrium ... ..	1600	88
Ytterbium (?) ... ..	6400	172	Mangán ... ..	1300	55
Titánium ... ..	5600	48	Vanádium ... ..	320	51
Stroncium ... ..	5600	87	Czink ... ..	240	65
Alumínium ... ..	2800	27	Kadmium ... ..	200	112
Skandium ... ..	2800	44			

Ezek a magasságok közelítően helyesnek tekinthetők. A vonalak fényességének hatása mindenesetre nagyon le van szállítva, a mint a nátrium példája mutatja, melynek magassága a *D* vonalak nagy intenzitása ellenére is csekély.

A magasság valamilyen összefüggése az atómsúlylyal nem tűnik ki ebből határozottan. A kalcium kétszer oly magasra terjed, mint a hidrogén; a bárium közepes magasságot ér el, bár az összes megfigyelt elemek között a legnehezebb, míg az igen könnyű nátrium még olyan magasra sem ér, mint a nehéz bárium. De azért úgy látszik, hogy mégis észlelhető némi függés az atómsúlytól. Ha kizárjuk a felette bizonytalan ytterbiumot, akkor a három kromoszféra-elemnek, a kalcium-, hidrogén- és héliumnak, melyek 10 000 kilométernél magasabbra emelkednek, közepes atómsúlya 15-öt tesz ki. A 8000 km és 5000 km magasságig emelkedő elemek közepes atómsúlya 53 (magnézium, titánium és stroncium). A 3000 km és 1000 km magasság közé eső elemek az alumínium, skandium, bárium, nátrium, vas, yttrium és mangán, a melyeknek közepes atómsúlya 61. A csak 300 km-ig érő három elemnek, a vanádiumnak, czinknek és kadmiumnak közepes atómsúlya 76.

Még egy eddig véglegesen el nem döntött kérdéssel kell foglalkoznunk. A flash-spektrum néhány képén, melyeken sötét és fényes vonalak együtt vannak jelen, bizonyos vonalaknál kicsiny hullámhosszbeli különbségek észlelhetők. Egy esetben CAMPBELL azt találta, hogy az összes szóbanforgó vonalaknál az eltolódás ugyanabban az értelemben mutatkozik, a mennyiben a sötét



vonalak kissé az ibolyaszín felé fekszenek. Más esetekben meg az eltolódás iránya az egyes vonalaknál különböző volt.

A gázáramoknak a Napon állandóan észlelhető nagy sebessége mellett az ilyféle eltolódásokban semmi feltűnő nincsen. De gondolhatunk a nyomás hatására is, a mennyiben a világítógázok mindenkori magasságukhoz képest igen különböző nyomások alatt lehetnek, a mint az némely vonalak különböző kiszélesedésében közvetetlenül kifejezésre jut.

Vonalmegkettőződéseket is észleltek, a melyek részben bizonyára reálisak s a melyek széles és erős vonalak közepében való megfordulás következtében jöttek létre. De ezek a megfigyelések nagyobbára talán nem reálisak, hanem abból keletkeztek, hogy a fotografuslemez nem állították be tökéletesen a gyújtópontba, a mi a prizmás kamaránál igen nehéz és bizonytalan dolog.

*A napkorona.* Teljes napfogyatkozások alkalmával a kromoszféra felett megjelenik a korona, mely ezüstszürke vagy fehéres fény alakjában veszi körül a Napot. Szerkezete rostos és intenzitása kifelé általában erősen csökken. Nagysága és alakja tetemes változásoknak van alávetve. Nyúlványait gyakran lehet több napátmérőnyi távolságban követni. Az utóbbi két évtized napfogyatkozásai alkalmával igen szorgalmasan tanulmányozták a koronát s fotografiai módszerekkel az eredményeket jelentősen előbbre vitték. De a teljesség néhány percnyi tartamához való kötöttség és a megfigyelésre való ritka alkalom nagyon is útjában állott a rendszeres tanulmányozásnak. Ezért számos kísérletet tettek arra, hogy a koronát napfogyatkozáson kívül is megfigyelhessék oly formán, a mint ez a protuberanciáknál már oly jó eredménnyel sikerült. Csakhogy a koronánál sokkal nagyobbak a nehézségek. Különösen a jellemző korona-vonalak intenzitása aránylag csekély. Színképe különben három részből tevődik össze, a mennyiben a vonalas színképen kívül folytonos színkép is jelen van s egyúttal a Nap visszavert színképe is hozzájárul, a melyet a FRAUNHOFER-féle vonalakról lehet megismerni.

Először a koronát a Napnak ernyővel való eltakarása útján iparkodtak közvetetlenül fotografálni. Valamely kiterjedt égi tárgy világos nappal csak akkor látható vagy fotografálható le, ha területi fényessége ( $h$ ) oly nagy, hogy  $h$ -nak és a megvilágított földi

légkör  $H$  fényessége összegének viszonya az utóbbi  $H$  fényességhez, vagyis a  $\frac{h+H}{H}$  kontraszt még észrevehető. A szem számára az észrevehetőség függ a  $h+H$  abszolút fényességtől, ezért a viszonyok kedvezőbbek, ha a Nap legközelebbi környezetének vakító fényességét valami módon gyöngítjük. A fotografálás céljaira a lemez érzékenységének, vagy pedig a kinntartás idejének megválasztásával kell a legkedvezőbb gyöngítési fokot felkeresni. Ha nem lenne légkörünk, akkor a koronát mindig láthatnók. Ennélfogva a légkör hatását lehetőség szerint ki kell küszöbölni olyanformán, hogy nagy magasságokba emelkedünk. Ilyenkor a levegő tömegének csökkenése és a tisztaság növekedése következtében a  $H$  kisebbé válik. Eddig teljesen eredménytelen maradt minden kísérlet, melylyel a koronát közvetlenül akarták láthatóvá tenni.

HUGGINS fotografálás útján igyekezett a korona képeihez jutni. Kísérletei a már említett elven alapszanak. Ő a fotografiai eljárást akként módosította, hogy a lehető legnagyobb érzékenységet érhesse el gyöngé kontrasztok fotografálásánál. A kinntartásidőt amellet természetesen ugyanilyen értelemben kell megválasztani. HUGGINS a fotografálás céljaira a klórezüstös eljárást választotta. Valamennyi képen a Nap körül fényes, kifelé csökkenő szegélyezés látható. Ez ugyan rendesen nem más, mint a megvilágított földi légkör képe. De nagyon tiszta kék ég mellett HUGGINS oly képeket kapott, melyek világos nyomait mutatták valami szabálytalan környezetnek és koronához hasonló szerkezetnek. Az ügy közvetlen tisztázása céljából HUGGINS az 1883. május. 6-i teljes napfogyatkozás alkalmával — melyet a Karolina-szigeteken észleltek — Londonban fotografiákat készített, a melyekről azután rajzokat készítettett, még mielőtt a Karolina-szigeteken elért eredmények ismeretessé lettek. A későbbi összehasonlítás határozott hasonlatosságot mutatott az általános alakban. De az azonosságot minden kétséget kizáró módon bizonyította egy sajátos alakú sugár, mely mind a kétféle képen látható volt. Eszerint kétségtelen, hogy HUGGINS-nek sikerült a problémát megoldani. Mindazonáltal be kell vallanunk, hogy az elért eredmények még eddig nem járultak hozzá a korona tanulmányozásának előbbreviteléhez.



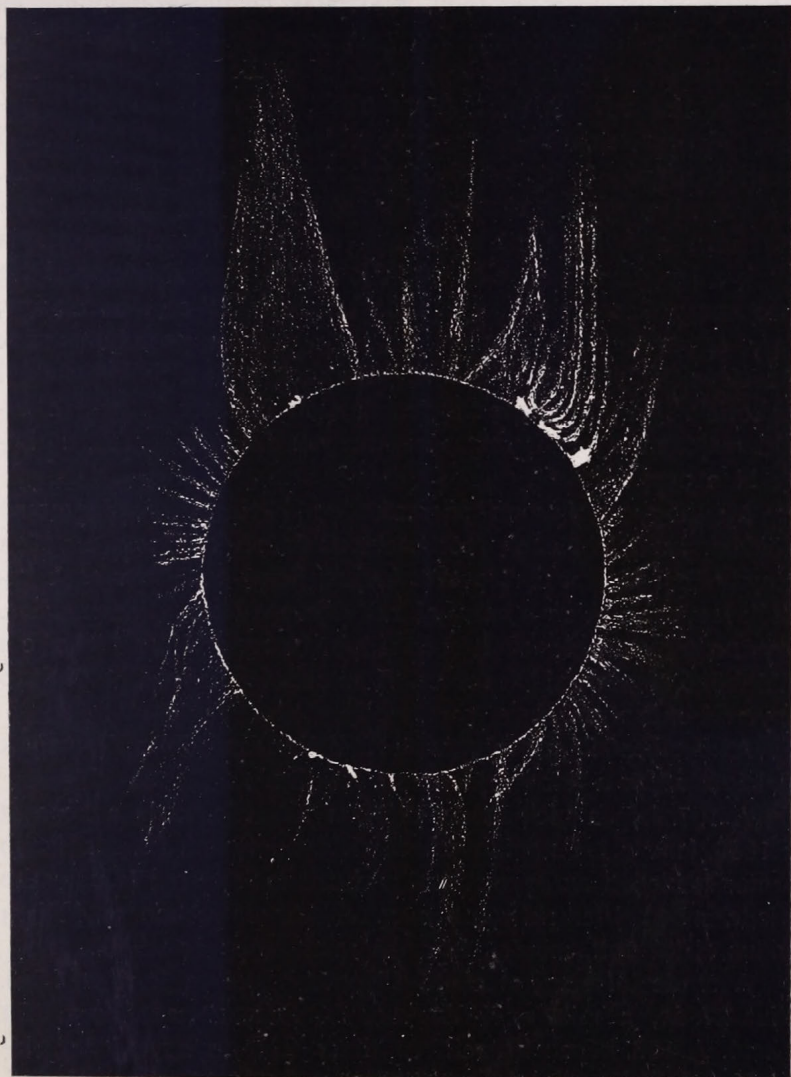
HALE egészen más úton kísérte meg a feladat megoldását. Minthogy légkörünk világossága főleg a napfénytől származik, a légkörnek aránylag nagyon sötétnek kell lennie az olyan fény számára, melynek hullámhossza egyenlő valamely a Naptól származó FRAUNHOFER-féle vonal hullámhosszával. Spektrohéliográf segítségével aránylag nagyon könnyen lehet egy ilyen vonalat a többi fénytől különválasztani, csak a második rést kell pontosan erre a vonalra beállítani.

E módszer célravezető volta ismét egyedül attól függ, hogy a korona fénye nagyjából saját fény-e, nem pedig csupán visszavert napfény? Az utóbbi esetben a korona a megfelelő hullámhosszúságú fényben természetesen szintén sötétnek látszanék. HALE kísérleteinél a széles, sötét  $K$  vonalat használta, de kísérletei eredménytelenek maradtak, bár azokat nagy magasságban végezte. Ez arra mutat, hogy a korona saját fénye csak nagyon csekély.

Az utóbbi évek folyamán számos más kísérletet is végeztek, részben különös sugárzások felhasználásával. Az összességében is igyekeztek megmérni bolométer segítségével, de minden gyakorlati eredmény nélkül. Eszerint a korona tanulmányozásánál még mindig a napfogyatkozásokra vagyunk utalva s csak érthető, ha az alább elmondott eredmények biztossága részben kívánni valót hagy hátra.

A korona kiterjedése nagy mértékben változik, még pedig összefüggésben a Nap tevékenységének 11 évnyi periódusával. Mikor a tevékenység a legnagyobb, napfoltok maximumakor, akkor a korona terjedelme is a legnagyobb, minimumkor pedig a legkisebb.

A korona szerkezete szintén gyors változásnak van alávetve. A korona szerkezete szembetűnően főleg sugaras. Ha ez némelykor és némely ponton nem eléggé világosan látható, az onnét van, hogy a korona nem síkban terül el, hanem térbeli alakzat, úgy hogy vetületben, a hogy mi látjuk, egyik rész a másikat eltakarja, a mi a képet teljesen elmosódottá teheti. Ugyanez áll a sugarak kiinduláspontjára is, mely a valóságban a látszó peremtől jóval előbbre vagy hátrább fekszik, míg látszólag valamennyi sugar a napperemből indul ki.



156. rajz.

A korona tipikus alakja az 1900. május 28-i teljes napfogyatkozás fotografiái után készült 156. rajzon látható. A Nap két sarkán aránylag rövid sugarak legyezőszerűen terülnek el. A mint



a héliografikus szélesség fogy, a sugarak meghosszabbodnak és erősen hátragörbülnek úgy, hogy az egyenlítővel majdnem párhuzamosan haladnak. Az egyenlítő közelében a sugarak csak kevéssel hosszabbak, mint a sarkokon, de meglehetősen egyenesek és párhuzamosak az egyenlítővel. A korona körvonalai eszerint nagyjából fecskefarkalakúak a napegyenlítő két oldalán. A korona legnagyobb kiterjedtsége szembeszökően azokon a tájakon van, a hol a protuberanciák és velük összefüggésben a foltok a leggyakrabban előfordulnak. Újabb vizsgálatok szerint a koronasugarak eredete főleg a protuberanciákkal esik össze, úgy, hogy egyes csillagászok a korona sugarait a protuberanciák közvetlen folytatásának tekintik. Eltérések ettől a tipikus alaktól gyakoriak. Így pl. észleltek egyes nagyon intenzív és messze terjedő majdnem egyenes sugarakat, melyek érintő irányában indultak ki a napperemből.

Minthogy a korona fényerőssége kifelé nagyon gyorsan csökken, azért lehetetlen szerkezetének összes részleteit egyetlen fotografiából kiolvasni. Ha azt akarjuk, hogy a külső részek láthatók legyenek, akkor a belső részek teljesen túl vannak exponálva. Egy napfogyatkozás alatt ezért több fotografiát kell készíteni különböző kinntartásidők mellett és ha csak lehetséges, különböző fényerejű műszerekkel.

A következő képek fotografiai fölvételek reprodukciói, melyek hű képét adják a korona különféle alakjának.

A 157. kép a Lick-obszervatórium fölvétele, mely a koronát az 1889. január 1.-i napfogyatkozás közben tünteti fel. Hosszabb kinntartás mellett az egyenlítővel párhuzamos sugarak is nagyobb terjedelemben jelentek volna meg. A korona ebben az időben tipikus alakú volt, minden különös rendellenesség nélkül.

A rendestől nagyon eltérő állapotban volt a korona 1896. július 27.-én, a mint ez KOSTINSKY és HANSKY-nak fotografiáin látható. A 158. képen két eltérés tűnik fel: az egyenlítőből kiinduló baloldali széles kéve s különösen a fönt jobbra elterülő, széles alapból kiinduló s az egyenlítőhöz csak kevéssé hajló sugár. A kép csekély élessége miatt a sarkkörüli sugarak nem jól láthatók, de azért mégis jelezve vannak.

A koronának valamennyi eddigi fotografiája között talán a legjobb az, melynek másolatát a VII. táblán láthatjuk. FROST

fölvétele ez, mely az 1900. május 28.-i napfogyatkozás alkalmával készült. Különösen a sarkkörüli sugarak igen jól láthatók rajta.



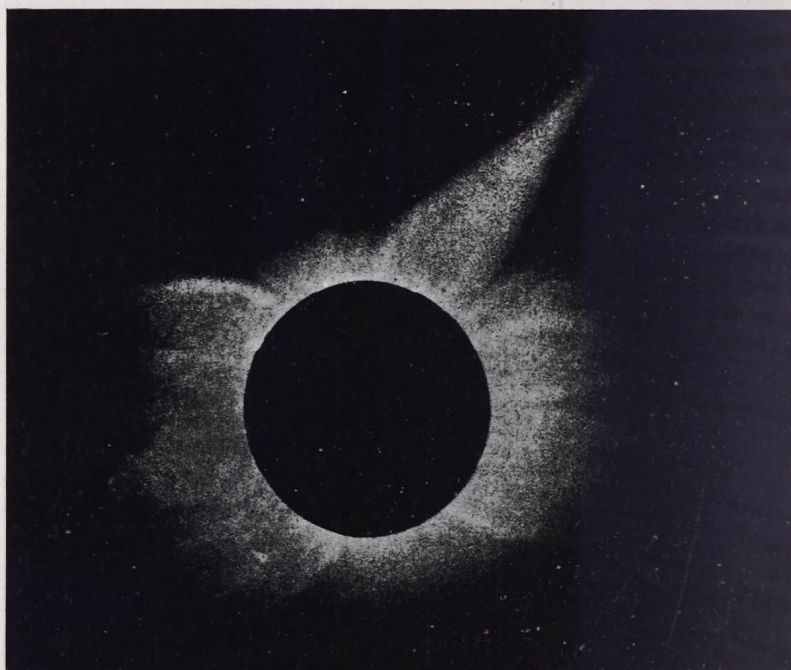
157. rajz.

A korona fényessége is, éppen úgy, mint terjedelme, minden-  
esetre változó s azért nehéz róla valami általánosat mondani.  
Maga a mérés a fogyatkozás teljességének rövid ideje alatt ter-



mészetesen meglehetősen pontatlan, minek következtében a különféle eredmények igen erősen eltérnek egymástól.

Fotométeriai mérések a korona összfényességére a következő értékeket adták, kifejezve a telihold fényességével, mint egységgel.



158. rajz.

I d ő p o n t	Megfigyelő	Fényesség
1870. december 22. ....	ROSS	25·6
1878. július 29. ....	SMITH	2·7
1878. » 29. ....	HARKNESS	3·8
1886. augusztus 29. ....	DOUGLAS	1·4
1889. januárus 1. ....	LEUSCHNER	0·5

Megjegyezzük, hogy 1870-ben napfoltmaximum volt, még pedig igen erősen kifejezett maximum. 1878-ban minimum volt.

Az 1886. év ezen minimum és egy kevésbé kifejezett maximum közé esik, 1889-ben pedig minimum volt. Nagyon valószínű, hogy Ross megfigyelésekor csakugyan nagyobb volt a fényesség, mint a többi megfigyelésnél, de az, hogy abban a rendkívüli nagy mértékben-e, minőről a 25·6 szám tanúskodik, mégis kétséges marad.

A fényességnek eloszlásáról a koronán belül is van többféle észlelésünk. HARKNESS szerint a fényesség fogy, még pedig a napperemtől való távolság négyzetével fordítva arányosan; e mellett a területi fényesség közvetlenül a perem közelében állítólag 15-ször akkora volt, mint a telihold fényessége (1878). LANGLEY ugyanennél a fogyatkozásnál 1'-nyi távolságban a Naptól a fényességet hatszor akkorának találta, mint a teliholdét, 3'-nyi távolságban pedig már tízszer gyöngébbnek.

A szóban levő fényességről HOLDEN és BARNARD végeztek érdekes vizsgálatot három különböző fogyatkozásnál készült fotografiák alapján. A fényerősségek métergyertyákban vannak kifejezve.

	1886. augusztus	1889. januárius	1889. december
1. A korona legfényesebb részeinek fényessége ... ..	0·031	0·079	0·029
2. A sarkkörüli sugarak fényessége ... ..	—	0·053	0·016
3. Az ég fényessége a korona mellett ... ..	0·001	0·005	0·001
4. A korona összfényessége ...	37	61	26
5. Az ég összfényessége ... ..	52000	185600	33400
6. A 4. viszonya az 5.-höz ... ..	1 : 1400	1 : 3040	1 : 1290
7. Az 1. viszonya a 3.-hoz ... ..	1 : 44	1 : 16	1 : 32
8. Az ég fényessége nappal 1 <sup>o</sup> -nyira a Naptól ... ..	40	—	—
9. A telihold fényessége ... ..	1·66	—	—

A korona legfényesebb helyének fényerősségviszonya a megvilágított földi légkörhöz napfogyatkozáson kívül, tehát az előbbi összeállításban az 1. viszonya a 8.-hoz, e szerint: 1 : 300. Ezzel



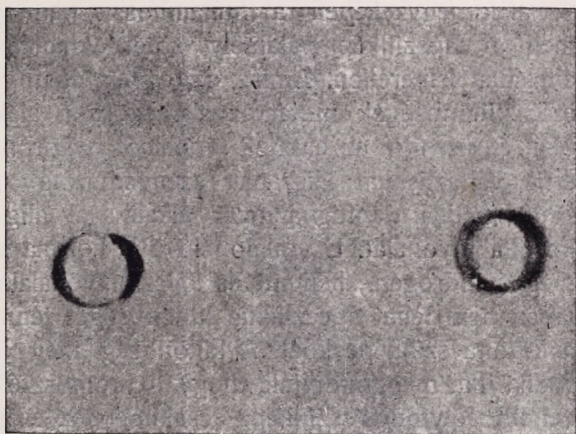
teljesen meg van magyarázva, miért nem sikerül a koronát lefotografálni napfogyatkozáson kívül. Az 1886. augusztusi napfogyatkozás alkalmával THORPE megmérte a korona fényességét a Naptól való nagyobb távolságokban. Szerinte a fényesség  $3\frac{1}{4}^0$ -nyira a Naptól mintegy háromszor kisebb volt, mint  $\frac{3}{4}^0$  távolságban. Ebben az utóbbi távolságban a korona fényessége 15-ször kisebb volt, mint a teliholdé.

Izzó testről érkező fény vagy csak gyöngén, vagy egyáltalában nincsen sarkítva (l. 33. lap). Ez az úgynevezett természetes fény, milyent a világító láng és a Nap is kibocsát. Mindennemű visszaverődés azonban többé vagy kevésbbé erősen sarkítja. Ennélfogva a polarizáció megfigyelése biztos felvilágosítást nyújt arról, hogy valamely világító tárgy fénye saját, vagy visszavert fény-e? A korona polarizációjára vonatkozó megfigyelések e szerint különösen fontosak a korona mibenlétének vizsgálatánál, ezért már korábban is végeztek ilyen megfigyeléseket, a melyekből kétségtelenül kiderült, hogy a korona fénye részben sarkítva van s hogy ennélfogva egy része visszavert napfény. Erre vonatkozólag nagyon gondos vizsgálatokat amerikai csillagászok végeztek az 1900. május 28.-i napfogyatkozás alkalmával.

A közvetetlen optikai megfigyeléseket spektroszkóppal végezték, melybe SAVART-féle lemezt és NICOL-féle prizmat tettek. Ha a természetes fényben a sarkított fény csekély nyomai vannak jelen, akkor a színekben sötét keresztsávok keletkeznek. Azt kellett megvizsgálni, hogy ezek a sávok megszakadnak-e, vagy nem, a korona folytonos színekének ama helyein, a hol a korona fényes vonalai jelennek meg. Az első eset bekövetkezte azt bizonyítaná, hogy a koronát alkotó gázok saját fénye nincsen sarkítva. WOOD megfigyelései azt eredményezték, hogy az a fény, mely a folytonos színeképet szolgáltatja, aránylag erősen sarkított, még pedig 10%-15%-a. Ebből kitűnt, hogy a korona fényének tetemes része szilárd testekről visszavert fény. A koronavonalak ellenben nyomát sem mutatták a polarizációnak.

A fény-sarkításnak fotografiai úton való kimutatására DORSEY a következő eljárást követte. Közöséges fotografuskamara tárgylencséje mögé kettősen törő prizmat helyezett, úgy hogy a koronának két képe keletkezett, melyek egymásra merőlegesen vannak sarkítva. Az egyikben a két képet összekötő vonalban

hiányzik minden fény, mely ehhez a vonalhoz párhuzamosan van sarkítva, a másikban pedig az erre merőlegesen sarkított fény hiányzik. Az egyik képnek eszerint gyöngülést, a másiknak erősbödést kell mutatnia ezen a vonalon. Azt, hogy ez valóban így van, a 159. rajzon láthatjuk, a mely ilyen kettős fölvételről készült reprodukció. A kép erős sarkítást jelez; a sarkítás síkja a Nap középpontján megy keresztül. Annak, hogy a korona a képen kettős gyűrű alakjában jelenik meg, a kettősen törő prizma az oka. Ez a prizma a korona képét keskeny színeképpé nyújtja szét, mely főleg csak a két végén fejtett ki fotografiai hatást, mert a fölvétel orthochromatikus lemezen történt. Ezek a kísérletek is azt igazolták, hogy a korona legalsó részének (kromoszféra) hidrogén vonalai nincsenek sarkítva.



159. rajz.

A korona színeképe három részből áll. Ezek egyike folytonos színekép, sötét FRAUNHOFER-féle vonalakkal. Ez a színekép a Nap fényétől ered, mely a korona szilárd vagy folyékony részein visszaverődött s létét azonkívül a polarizációs megfigyelések is bizonyítják. Hogy azonban ez a folytonos színekép nem pusztán visszavert napfénytől ered, abból a körülményből tűnik ki, hogy a FRAUNHOFER-féle vonalak igen gyöngén jelennek meg s hogy ennél fogva valamely másik, tisztára folytonos színekép okozza, hogy ezek a vonalak világosabbak lettek. Hasonló eredményre vezetett DESLANDRES megfigyelése az 1893. április 16-i napfogyatkozás alkalmával, mely szerint a folytonos koronaszíneképnek az ibolyaszín felé eső részei aránylag gyöngébbek a napszíneképnek a vörös felé eső részeihez képest. Ha ez a meg-



figyelés beigazolódna, akkor be lenne bizonyítva, hogy a korona fényének tetemes része a Nap hőmérsékleténél alacsonyabb hőmérsékletű izzó testektől származik.

A korona vonalas színképéből eleinte csak a fényes zöld  $1474\text{ K}$  (a KIRCHHOFF-féle skála szerint) vonal volt ismeretes. Újabb mérések szerint e vonalnak megfelelő hullámhosszúság  $\lambda 5303$ . Azonban alig kétes, hogy a YOUNG-féle jegyzék  $\lambda 5317$  kromoszféra-vonalával — mely ott a 100 gyakoriságsszámmal szerepel — lesz azonosítható; valószínű, hogy a kromoszféra-vonalak jegyzékében a hullámhossz nem pontos. Nem felel meg a napszínkép valamely sötét vonalának s eredete egyáltalában ismeretlen. Amint az egyes napfogyatkozásoknál igen erős különbségek mutatkoznak a korona alakjában és erősségében, éppen úgy az említett vonal és a korona egyéb vonalai is erős változásokat látszanak szenvedni. Így például YOUNG az 1900. májusi napfogyatkozás alkalmával alig tudta észrevenni a korona fővonalát. E vonalon kívül a korona színképében találjuk még a hidrogén-, hélium- és kalciumvonalakat, úgy hogy alapján nem lehet specifikus különbséget tenni a kromoszféra és a korona színképe közt. A különbség még jobban összezsugorodik, ha meggondoljuk, hogy a kromoszférának is van észrevehető folytonos színképe, csak hogy ez erősen háttérbe szorul a felette fényes kromoszféra-vonalak mellett. Ha a korona színképét akként fotografáljuk, hogy a rés a Nap középpontja felé irányuló egyenesbe essék, akkor az összefüggő színkép szélessége mindinkább fogy abban az arányban, a hogy a fénygyöngesség az ibolyaszín felé növekszik, míg végül fonálalakban eltűnik, tehát már csak a korona legmélyebb részeinek, azaz a kromoszférának felel meg. A kromoszféra és koronaszínkép ezen szoros összefüggése miatt nehéz a tulajdonképpeni koronavonalakat a többiektől különválasztani.

A következő összeállításban felsoroljuk a koronavonalakat több megfigyelő eredményeire támaszkodva. Benne foglaltatnak a fényesebb kromoszféravonalak is. Az intenzitásbecsléseket is közöljük, amennyiben ilyeneket végeztek.

$\lambda$	Inten- zítás	Eredet	$\lambda$	Inten- zítás	Eredet
5875·9	—	hélium ( $D_3$ )	4713·3	—	hélium
5535·8	—	korona	4865·9	8	—
5303·1	—	korona (1474 $K$ )	4471·8	5	hélium
5183·8	—	$Mg$	4340·1	7	$H_\gamma$
5172·9	—	$Mg$	4231·2	1	—
5169·5	—	$Fe$	4101·2	6	$H\delta$
5167·5	—	$Mg$	4078·1	3	$Ca$
5117·7	—	korona	4026·5	4	hélium
5018·9	—	$Fe$	4006·7	1	—
5015·7	—	hélium	3988·8	2	—
4924·0	—	$Fe$	3968·6	10	$Ca$
4921·9	—	hélium	3933·9	10	$Ca$
4861·5	—	$H_\beta$	3889·2	4	$H_\epsilon$

DESLANDRES a következő koronavonalakat találta a szélső ibolyántúli részben:

$\lambda$	Intenzitás	Eredet
3236·6	4	korona
3188·2	4	korona (hélium)
3170·3	4	korona
3163·9	3	korona

Nem tudjuk, hogy mindezek a koronavonalak ugyanattól az anyagtól származnak-e, mint a zöld vonal.

A mi csekély kiterjedésű légkörünkről tudjuk, hogy részt vesz a Föld forgásában. Nagyérdekű kérdés, hogy a Nap légkörénél is így van-e s mily magasságig? A közvetlen megfigyelések bizonyítják, hogy a forgásban résztvesznek a Nap légkörének ama mélyebb részei, a melyekben a kromoszféra és a protuberanciák székelnek, de hogy ebben a tulajdonképpeni korona mily mértékben vesz részt, egyelőre még nyílt kérdés.



A DOPPLER-FIZEAU-féle elv alkalmazásával a koronavonalak esetleges eltolódásából a korona különböző pontjain lehetne erre nézve következtetéseket vonni. De a vizsgálat nem olyan egyszerű, mert a korona nagy átlátszóságánál fogva a korona valamelyik pontjában észlelt sugarak részben még a korona legkülső részeiből erednek, úgy hogy ebből a koronavonalak elmosódottsága és kiszélesedése származnék. A lineáris sebességnek a látóvonalba eső összetevője csak abban az esetben lenne ugyanaz a korona egész keresztmetszeténél, ha a korona mint valami szilárd test mindenütt egyenlő szögsebességgel forogna. Ekkor éles vonalaknak kellene megjelenniök, melyeknek eltolódásából állapíthatnók meg a szögsebességet a megfigyelt pont látszólagos távolsága számára. Az 1913. április 16.-i napfogyatkozás alkalmával DESLANDRES végzett ilyenféle méréseket a kalciumvonalakon 3'—10'-nyi távolságban a napperemtől. Azt találta, hogy a keleti és nyugati perem eme pontjai között a sebességkülönbség 6.8 kilométer, ennél fogva a Nap légköre ezen távolságig résztvesz a forgásban, a mi ugyan teljesen valószínűnek látszik, de mégis igazolásra szorul.

#### TIZENKILENCZEDIK FEJEZET.

### Elméletek a Napról.

A kezdetben természetfilozófiai, később exakt tudományos kutatások fejlődéséről rendkívül szemléltető képet nyújtanak nekünk azok a nézetek, melyeket idők folyamán a Nap alkatáról vallottak. A Napra vonatkozó különböző elméletekben nagyon szembe-tűnően tükröződik vissza az általános fizikai megismerésnek az a hatalmas föllendülése, mely az elmúlt évszázad közepén ment végbe s melyet elméleti vonatkozásban az energia megmaradásának törvénye és a mechanikai hőelmélet megalkotása, gyakorlati vonatkozásban pedig a színeképelemzés megalapozása jellemez. Éppen ezért itt helyénvalónak tartjuk, hogy az egész asztrofizikának ezen legfontosabb fejezetében, mely a Napnak, a megismerésünk számára részletesen hozzáférhető egyetlen állócsillagnak van szentelve, rövid történeti ismertetésbe bocsátkozunk. Kötetek kellenének,

ha részletekbe akarnánk bocsátkozni, mert a csillagászat egyetlen ágában sem gyűlt össze annyi anyag, sehol sem találkozunk annyi magyarázat-kísérlettel, mint éppen itt. Sajnos, e kísérletek közül nagyon soknak csekély a tudományos jelentősége, mert szerzőiknek nem volt meg a szükséges tudományos előképzettségük s még a komolyabb dolgozatokban is helyes és éles elmére valló meggondolások tarthatatlan és teljesen egyéni nézetekkel vannak összekeverve. Ezért, néhány különösen jellemzőnek látszó kivételt nem tekintve, nem fogjuk a Napra vonatkozó számos elméletet egész terjedelmében ismertetni, hanem csak egyes kiválasztott nézeteknek fogunk helyt adni. Végül pedig saját nézetünket fogjuk kifejezni és összefüggésbe hozni a többi elméletekkel.

A Nap fizikai alkatára vonatkozó elméletek egészen a színképelemzés fölfedezéséig csupán a külső látszatra támaszkodhattak, pedig fizikai tünetmények belső természetébe pusztán a látszattól betekintést nyerni mindig nagyon bajos és kényes dolog, különösen oly korban, mikor a mai alapvető természettörvények még teljesen ismeretlenek voltak. Innét van aztán, hogy bár az e fajta legutolsó napelméletek felépítésében félreismerhetlenül megnyilatkozik bizonyos éleselméjűség, mégis az új vizsgálati módszerek, vagy új általános törvények felfedezése mindig közvetlenül maga után vonta ezen elméletek összedőlését.

Arról, hogy a történelem előtti időkben a különböző népeknek milyen nézeteik voltak a Nap mibenlétéről, nincsenek biztos adataink. A hagyományokból arra következtethetünk, hogy a Napot istenségnek, néhol legfőbb istenségnek tekintették, míg a többi kevésbbé fényes csillagnak alárendelt szerep jutott osztályrészül. Ezen nem is csodálkozhatunk, mert a gondolkozó embernek először is arra kellett eszmélnie, hogy az emberiség függ a *lucerna mundi*-tól, a világ világosságától, a hogy KOPERNIKUS a Napot nevezi. Ezek az eszmék később másokkal elegyedtek, míg végül bonyolult mitológiák keletkeztek, a melyekben a csillagok mellett határozott földi jelenségek is istenségekke szimbolizálódtak. Ez a legszembetűnőbben a görögök költői mitológiájában jut kifejezésre, de megnyilvánul a zord északi mondákban is.

A Napra vonatkozó legrégebbi nézet talán a kínaiaktól ered, kik a Napot már nem tekintették istenségnek, hanem valaminek, a mi közvetlenül az istenektől függ és a mi örökösen abban



a veszélyben forgott, hogy gonosz sárkányok folyton üldözik és napfogyatkozáskor felfalják. A napfogyatkozás okáról más népek is hasonlóan vélekedtek. Napfogyatkozás alkalmával több nép nagy zajt csapott, hogy az üldöző szörnyeteget elűzzék és a Napnak segítségére jöjjenek. Minthogy a fáradozást mindig gyors siker koronázta s a Napot csakugyan sikerült megmenteni, ezektől a tudatlan népektől nem lehet rossz néven venni, hogy hittek szerük csalhatatlanságában. És vajjon nem találkozunk-e néhol manapság is velejében ugyanezzel az alapgondolattal? Lényegében más-e az, mikor 1887-ben a napfogyatkozás alkalmával Oroszország belsejében a falusi lakosság imádkozva és tömjéntartókat lóbálva járta körül a csillagászok észlelőhelyét?

Az első *tudományos*, minden mitológiától függetlenített nézet a Nap mibenlétéről PLINIUS adatai szerint úgy látszik az ioni filozófusok iskolájából indult ki. A görög filozófiának ezt a legrégibb iskoláját THALÉSZ (640—550. Kr. e.) alapította, kinek halála után ANAXIMANDER (610—547.) és ANAXIMENÉSZ (550. év körül) voltak ezen iskola legkiválóbb képviselői. Azt tanították, hogy a Föld lapos korong, melyet köröskörül az Okeanosz, a világ-tenger, vesz körül. Az ég boltozatszerűen beborítja a Földet s az Okeanoszt kifelé határolja. Az égboltozaton túl mindenütt tűz van. A Nap nyílás ebben a boltozatban, melyen át ezt a tüzet látni lehet. Ha ez a nyílás bedugul, akkor napfogyatkozás keletkezik.

Lényeges haladást jelent a pythagorászi iskola tanítása. Maga PYTHAGORASZ (582—500. Kr. e.) s követője PHILOLAOSZ, SZOKRATÉSZ kortársa, a Krisztus előtti ötödik század vége felé azt tanította, hogy a Föld a térben szabadon lebegő gömb s hogy a Nap és Hold is gömbök, a melyek azonban az ú. n. szférákhoz vannak erősítve. A Föld mozog ugyan, de nem a Nap körül, hanem az egész rendszer közepében levő középponti tűz körül, mely felé mindig ugyanazt az oldalát fordítja. Erre a nézetre az a tapasztalat vezetett, hogy dél felé, tehát a képzelt középponti tűzhez közeledve, mindinkább melegebb lett; arról akkor még nem tudtak, hogy az egyenlítőn túl a hőmérsékleti viszonyok megfordulnak. Maga a Nap is csak ama középponti tűznek visszavert fényében ragyog. A pythagorászi iskola egyébiránt még egy úgynevezett ellenföld létében is hitt, mely szerinte a délre törő utas előtt a középponti tűzön túl feltárulna.

Az ióni iskola tanításával teljes ellentétben állott az éleai iskoláé, melyet XENOPHANÉSZ alapított. Ennek szellemében ANAXAGORASZ (500—428. Kr. e.) azt tanította, hogy a Föld a világ közepében nyugszik. A Nap és a többi csillagok izzó kőtömegek, melyeket az égboltozat forgása nem enged leesni. A Nap Peloponézosznál sokkal nagyobb; a Hold is oly nagy, hogy hegyek és völgyek vannak rajta, fényét pedig a Naptól kapja.

A természettudományi ismeretekre legnagyobb hatással ARISZTOTELÉSZ volt (384—322. Kr. e.), kinek hatása még messze a középkorba is belenyúlt. Az égről és a csillagokról a következőket tanította: Az égboltozat gömbalakú s; a csillagok köralakban mozognak. A csillagokból kiinduló hő és fény onnét származik, hogy térbeli mozgásuk következtében a levegő hozzájuk súrlódik, a mozgás pedig fát, követ és vasat egyaránt tüzesre hevít. Az égitestek mindegyike a maga szférájában mozog, de úgy, hogy nem ők maguk tüzesednek meg, hanem a levegő s pedig leginkább ott, a hol maga a Nap van elhelyezve.

Bár évszázadok folyamán bizonyára többen fordultak el az ARISZTOTELÉSZ-féle tanoktól, különösen COPERNICUS úttörő műve után, mégis csak a XV. század közepe táján fejlődtek ki lassan a Napról azok a nézetek, a melyek aztán a XIX. század közepéig érvényben maradtak. NICOLAUS CUSANUS (1401—1464.) irataiban leljük azt a tant, hogy a Nap maga földszerű s ezt finom burokként fényöv veszi körül; közben víztartalmú felhők és tiszta levegő keveréke van, mely a mi párás légkörünkhöz hasonló; szerinte nem a Nap földszerű magva, hanem a fényburka sugározza ki a földi vegetációt élesztő fényt.

A napfoltok megfigyelésén alapult CASSINI DOMINIQUE-nak az a nézete (1671. körül), hogy a látható napkorong fénytenger, mely a Nap sötét, szilárd magvát körülveszi. E fényburokban végbemenő hatalmas mozgások következtében a Nap ama sötét testének hegycsúcsai időről-időre mint a napfoltok fekete magvai válnak láthatóvá.

WILSON, BODE, HERSCHEL WILLIAM, HERSCHEL JOHN és ARAGO munkálatai alapján ebből oly elmélet fejlődött, mely a napfelületnek addig ismert összes jelenségeit megmagyarázza. HUMBOLDT az ő »Kosmos«-ában igen behatóan tárgyalja ezen elmélet alapvonalait. Az elmélet szerint maga a naptest sötét, de nagyobb távolság-



ban fényburok veszi körül. Alulról fölfelé irányuló áramlások következtében ebben a fényburokban tölcseyszerű nyílások keletkeznek, melyeken keresztül a sötét naptest mint a napfoltok fekete magva válik láthatóvá.

A fényburok és a naptest között HERSCHEL W. szerint fényes levegőréteg foglal helyet, melyben 70—80 földrajzi mértföldnyi magasságban sötét, vagy csak visszaverődés folytán gyengén megvilágított felhők úsznak, melyek a napfelület erős besugárzását megakadályozzák. Maga a fényburok HERSCHEL szerint ismeretlen természetű rugalmas fluidumból keletkezik, mely a naptest felületéről száll felfelé. A fényburok nyílásain keresztül a páratartalmú réteg is láthatóvá lesz s ebből származik a penumbra jelensége. A fényburkon kívül még harmadik réteg is van, mely felhős és tökéletlenül áttetsző. Ez a réteg fölfortyanó kiemelkedéseivel együtt teljes napfogyatkozások alkalmával látható. A vörös protuberanciákat a fotoszféra világítja meg s tőle kapják színüket is.

A HERSCHEL-WILSON-féle elmélet fokozatos fejlesztésénél bizonyára nem csupán fizikai megfontolások működtek közre. Nem csekély érdeméül tudták be ezen elméletnek, hogy a Nap izzó állapotát megmagyarázza, de mégis annak lehetőségét sem zárta ki, hogy a Napon élő lények is lehessenek.

A színeképelemzés felfedezése adta meg a halálos dőfést ennek az elméletnek, mely egészen a múlt század közepéig általános elterjedtségnek örvendett. Ezentúl már csak olyan elméletek érvényesülhettek, melyek a színeképelemzés szolgáltatta eredmények talajában gyökereztek s egyúttal az energia megmaradásának törvényét is számításba vették.

KIRCHHOFF *napelmélete* (1861). Magától értetődő, hogy az a tudós, ki először ismerte fel a napszínkép sötét vonalainak okát, tisztán elméleti alapon nyugvó felfedezését a Nap fizikai alkatainak magyarázására is felhasználta. KIRCHHOFF az ő felfedezéséből és a napszínkép tanulmányozásából vonta le a Nap alkatára vonatkozó következtetéseit s ezáltal minden későbbi napelmélet számára megingathatlan alapot teremtett. Annak, hogy elméletének egyes részletei ma már nem állhatnak meg, az a körülmény az oka, hogy éppen a KIRCHHOFF-féle felfedezés alapján lendült fel óriási módon a Nap fizikájának tanulmányozása s bővült ki hatalmasan a megfigyelés tényeinek köre.

A KIRCHHOFF-féle elmélet alapja a következő: A fotoszférát izzó szilárd vagy folyós testnek kell tekintenünk, a mely a folytonos napszínkép előidézője. A fotoszférát fémgőzök rétege veszi körül, melynek hőmérséklete azonban alacsonyabb, mint a fotoszféráé. E réteg elnyelése létesíti a FRAUNHOFER-féle vonalakat.

A Nap légkörében hasonló folyamatoknak kell végbemenniök, mint a mi légkörünkben. Ott is a helyi hőmérsékletcsökkenés felhőképződést idéz elő. Csakhogy a Nap felhőinek chemiai összetétele más, mint a mieinké. Ha ott valahol felhő keletkezik, akkor a légkörnek összes felette levő részei le fognak hűlni, mert a felhő elvonja előlük egy részét azoknak a hősugaraknak, a melyek még az imént a Nap izzó teste felől érték. Ez a lehűlés annál jelentősebb, mennél sűrűbb és nagyobb a felhő s azonkívül nagyobb a felhő felett közelebb levő pontokban, mint azokban, a melyek magasabban fekszenek. Ennek azután szükség-szerűen az a következménye, hogy a felhő felülről mindig gyorsabban növekszik és lehül. Hőmérséklete az izzás hőfoka alá süllyed, átlátszatlanná válik és így egy napfolt magvát alkotja. De még e felhő fölött tetemes magasságban is történik hőmérsékletcsökkenés. Ha itt valahol a gőzök közel érkeztek a harmatponthoz, vagy a már ott uralkodó hőmérséklet alacsony volta, vagy pedig két gázáram összetalálkozása folytán, akkor ez a hőmérsékletcsökkenés második felhő keletkezését fogja maga után vonni. Ennek sűrűsége kisebb lesz, mint amazé, mert a nagyobb magasságban levő gőzök sűrűsége kisebb, mint az alacsonyabban levőké. Minthogy ez a magasabb felhő átlátszó, ez létesíti a penumbrát, ha eléggé nagy kiterjedést ért el. Ha ilyféleképpen alkotott folt a Nap pereméhez közeledik, akkor a perspektivikus eltolódás következtében a WILSON-féle tűnemény következik be.

Napfoltok leírásánál ki szokták emelni, hogy a mag élesen határoltnak látszik s hogy a penumbra világosabb ott, a hol a maggal összeér, mint külső szélének közelében. Az utóbbi jelenség egyébiránt semmiképpen sem reális, hanem csak kontraszthatás. Ez annak a következménye, hogy a felső felhő középütt nagyon vékony s hogy tömege főleg a szélén halmozódik össze. A felhő fölött bekövetkező lehűlés, melynek oka az, hogy a felhő a napsugaraknak részben útjában áll, itt leszálló gázáramot fog létesíteni. A nagyobb magasságból ezáltal



elvezetett gázokat fölfelé szálló gázáram fogja pótolni, mely a felhő körül keletkezik. Magában a felhőben ez a két áram egyesül, úgy hogy a felhő vízszintes áramlások medrévé lesz, melyek belülről kifelé irányulnak. Ezek az áramlások, a melyekben az őket létesítő hőmérsékletkülönbségek több ezer fokra is rúghatnak s melyek bizonyára határtalanul fölülmulják a legerősebb földi orkánt is, a felhőtömegeket magukkal ragadják s így a felhőt középütt vékonyítják, a szélén pedig vastagítják. Erre mutatnak a penumbra sugárszerű sávjai is.

Azt a tapasztalatot, hogy a napfoltok főképpen csak az egyenlítőtől két oldalt levő két keskeny sávban jelennek meg, KIRCHHOFF azzal a SECCHI-től származó, de később be nem igazolódott föltevással igyekszik megmagyarázni, hogy a Nap hőmérséklete az egyenlítő tájékán magasabb, mint a sarkokon. Ha ez így van, akkor az atmoszférának a Nap felületén a sarkoktól az egyenlítő felé kell áramlania, itt fölfelé kell emelkedni s a magasban a sarkok felé vissza kell áramlania. Itt is éppen úgy, mint a Földön, az egyenlítői áram az egyenlítőtől bizonyos távolságban lefelé fog szállni s a szembejövő sarki árammal fog találkozni. Ezeken a tájakon felhők keletkeznek, melyeket mi mint foltokat veszünk észre.

A napfáklyákról KIRCHHOFF nézete a következő: Nincsen semmi feltűnő abban a megfigyelésben, hogy fáklyák és foltok sokszor egymáshoz közel láthatók. A fáklyák felhőképződésre adhatnak alkalmat az ő környezetükben azért, hogy a légkörben hőmérsékletkülönbségeket és áramlásokat idéznek elő, a mi által különböző összetételű és különböző hőmérsékletű rétegek jutnak egymással érintkezésbe. Másrészt az is gondolható, hogy a felhők elősegítik a fáklyák keletkezését, a mennyiben mint valami ernyő, az alsóbb rétegek sugárzását akadályozzák, a miáltal a belülről folyton áramló meleg ott hőmérsékletemelkedést idéz elő.

KIRCHHOFF-nak az a nézete, hogy a fotoszféra valóban a Nap izzón-folyós magjának felülete, mely a Nap légkörének erős áramlásai következtében a mi tengereinkhez hasonlóan folytonos hullámzó mozgásban van. ARAGO megjegyezte, hogy valamennyi szilárd vagy cseppfolyós testnél a nagyon ferdén kilépő fény részben sarkítva van, a Nap peremén azonban nyoma sincs a sarkításnak. Erre KIRCHHOFF azt feleli, hogy az erős hullámzó mozgás

következtében a folyton irányt változtató felületrészek, melyeknek sugarai szemünkben összeolvadnak, igen közel a nem sarkított fény állapotát fogják előidézni. Maga ARAGO jelezte, hogy a mi világító lángjainknál sem mutatkozik semmi nyoma a sarkításnak, pedig ezekben is szilárd testcskék világítanak. KIRCHHOFF ezért arra figyelmeztet, hogy ARAGO megfigyelése legföljebb arra föltevésre vezethetne, hogy a Nap összefüggő magja és légköre között valami ködréteg terül el, mely olyan sűrű, hogy a féhéren izzó mag<sup>1</sup> sugarai rajta nem hatolhatnak keresztül s a mely maga is fehér izzásban van. De ily ködréteg föltevését KIRCHHOFF a már említett okokból nem tartotta szükségesnek.

Bár a ma majdnem általánosan elfogadott nézet a fotoszféra alkatáról KIRCHHOFF-tól származik, azért ő mégsem tudott megszabadulni attól a többszázéves nézettől, hogy a Nap izzón-folyós gömb, s körülbelül akkora terjedelmű, mint a látszó napkorong. Ez annál feltűnőbb, mert már akkor elég ismeret állott rendelkezésre, melyeknek alapján nézetének valószínűtlenségét beláthatta volna. Először is már előre föltehető, hogy izzón-folyós gömbben a nagyobb fajsúlyú anyagoknak mélyebben kell elhelyezkedniök, a mint ez a Földnél is tapasztalható, melynek átlagos sűrűsége nagyobb, mint a felszíni sűrűsége. Azonban a Nap átlagos sűrűsége, ha határu a fotoszférát vesszük, csak 1.4. Mily anyagokból képzeljük hát összetéve ezt az izzón-folyós felületet, még ha a Nap sűrűsége egyenletes lenne is? Már ez a meg-gondolás magában véve is elég annak a belátásához, hogy a fotoszféra nem tekinthető valami izzón-folyós mag határrétegének. Ha ilyen mag létét egyáltalán fel akarjuk tenni, akkor átmérőjének sokkal kisebbnek kell lennie. Ebben a pontban tehát a KIRCHHOFF-féle elméletet elhibázottnak<sup>2</sup> kell tekintenünk, bár egyébként óriási haladást jelent a régebbi nézetekhez képest.

ZÖLLNER *napelmélete* (1869—1873). ZÖLLNER napelmélete teljesen a KIRCHHOFF-félén alapszik és csak részletesebb kidolgozásának tekinthető. A fotoszférát ez az elmélet is az izzón-folyós napmag hozzávetőleges határának tekinti, ennél fogva alapjában el van hibázva. Azért e helyen ismertetését<sup>3</sup> mégsem mellőzzük, mert logikai felépítése<sup>4</sup> és következetessége mintaszerű s mert a napelméletek történelmi fejlődésében mintegy határkövet jelez és egyúttal az utolsó olyan elméletnek tekinthető, mely még izzón-



folyós napmaggal számol. Azonkívül a ZÖLLNER-féle elméletben számos oly végkövetkeztetés és megjegyzés rejlik, mely még ma is teljesen érvényes.

ZÖLLNER, KIRCHHOFF-nak következő állításából indul ki: »a színkép sötét vonalainak létrejöttében nagyobb részük van a Nap légköre ama rétegeinek, melyek bizonyos magasságban vannak a mag színe fölött; az alsó rétegek t. i., melyeknek hőmérséklete közel ugyanaz, mint a magé, csak keveset változtatnak a fényen, minthogy minden fénysugárnál saját izzásuk folytán közel teljesen pótolják azt az intenzitásbeli veszteséget, melyet elnyeléssel előidéztek«. ZÖLLNER ebből mindjárt azt következteti, hogy az izzón-folyós felszín fölött levő légkör alsó rétegei általában köddel és felhőkkel vannak telítve, melyek bizonyos magasságban lebegnek az izzón-folyós tenger fölött. KIRCHHOFF megjegyzését ezekre a felhőkre kell vonatkoztatni, a miből aztán következik, hogy: 1. a felhőket az alsóbb rétegekben bizonyára csak nehezen lehet észrevenni és 2. hogy felhőszerűen sűrűsödő anyagok föltevése és létrejövetelük kimutatása magában még nem elég a napfoltoknak és csekély fényességüknek magyarázatához. Egyúttal ki kell mutatni oly okot is, mely állandó hőmérsékletcsökkenést von maga után, úgy, hogy az illető hely a fény- és hő-kibocsátóképesség csökkenése következtében heteken vagy hónapokon keresztül mint sötét folt környezetétől eltér.

Minthogy ZÖLLNER a foltokat lehűlés termékeinek tekinti, először azt kell megvizsgálni, hogy valamely folt helyén mi idézi elő a hőmérséklet csökkenését. A hővesztesség történhetik 1. hidegebb testre való vezetés által, 2. kisugárzás következtében. Minthogy a légkör külső rétegei a hidegebbek, csak lefelé irányuló áramok által létesülhetne a hidegebb testtel való érintkezés. Ez azonban nagyon valószínűtlen, mert ha az áram lefelé száll, akkor összenyomás következtében az áramban hőemelkedés létesül úgy, hogy csak kisebbszerű lehűlés és kontrasztthatás keletkezhetnék. Ennélfogva csak az a föltevés marad hátra, hogy a lehűlés kisugárzás által megy végbe. Ki kell tehát mutatni 1., hogy mely okból lehetséges a Nap bizonyos pontján a világító felhőréteg alatt nagyobb hőkisugárzás, mint más helyen, és 2., hogy mely oknál fogva maradhat fenn egy helyen hosszabb időn át is az így létesült hőmérsékletcsökkenés és az összes velejáró jelenségsorozat.

Az első pontra ZÖLLNER a következő feleletet adja. A Nap légkörének alkata az alatta levő napfelszín hősugárzásának intenzitását bizonyára hasonló módon befolyásolja, mint a földi légkör alkata a földfelszín hősugárzását. Ha a földi légkör csendes és felhőtlen, akkor az éjszakai kisugárzás következtében előálló hőmérsékletcsökkenés a legerősebb. E kisugárzás eredményeképpen keletkezik a hőmérséklet szerint harmat vagy dér. Valami hasonlónak kell végbemennie a Napon is.

Ha az említett okokból a Nap világító felhőburkolata egyes helyeken meg is ritkul s így látni engedi a légkörnek mélyebben fekvő rétegeit vagy az izzó-folyós mag felszínét, azért nem szabad azt várnunk, hogy ez a jelenség optikailag is feltűnő módon közvetlenül észrevehetővé válik, mint például a Naptól megvilágított valamely bolygó felhőzetének megritkulása, mert itt, KIRCHHOFF-nak előbb idézett megjegyzése értelmében, csak kicsiny intenzitáskülönbségek lehetnek.

Ha tekintetbe vesszük azt a fényelnyelést, mely magában a Nap légkörében megy végbe, továbbá azt a hatást, melyet a benne levő világító tárgyak különböző mélysége egyébiránt egyenlő körülmények között fényerősségükre gyakorol, akkor még azt sem lehet előre meghatározni, hogy mily értelemben fog végbemenni a fényességváltozás a naplégkörbeli felhőzet ilyen megritkulása alkalmával. Mert lehetséges lenne például, hogy a mélyebben fekvő s ezért forróbb tárgyak nagyobb fényessége a fényelnyelés által kiegyenlítődik, sőt még kisebbedik is. Ezen alkalommal ZÖLLNER rámutat arra, hogy gyakran lehet fényesebb helyeket (fáklyákat) észlelni a Nap felszínének olyan pontjain, a hol néhány nappal később folt fejlődése indul meg. ZÖLLNER a fáklyákat nem méltatta további figyelemre.

A második kérdésre, hogy miként lehetséges a helyi hősülédésnek oly hosszú időn át való megmaradása, ZÖLLNER azzal a föltevessel felel, hogy a foltok magvai *szilárd*, salakszerű anyagból álló tömegek. Hogy ezt valószínűbbé tegye, például felhozza három forró gömb viselkedését, melyek csupán halmazállapotra nézve különböznek. Tegyük fel, hogy mind a háromnál egyenlő nagyságú területen egyenlő helyi hőmérsékletcsökkenés létesül. Ekkor nyilvánvalóan a szilárd gömbnél fog legtovább tartani, míg a hőkülönbség kiegyenlítődik, mert ennél ez csak hővezetés



útján történhetik, míg a másik kettőnél még az áramlás által való kiegyenlítés is hozzájárul. Eszerint a napfoltok számára is a szilárd halmazállapot a legvalószínűbb.

Ezek a ZÖLLNER-féle napelmélet körvonalai, melyeknek lényegét ő maga röviden a következő szavakkal jellemzi: »A Nap izzón-folyós test, melyet izzó légkör vesz körül. Ebben lebeg bizonyos magasságban az izzón-folyós felszín fölött világító, kumulusszerű felhőalakzatok folyton megújuló rétege. Az oly pontokon, a hol a felhőréteg megfogy vagy széjjelfoszlik, erős kisugárzás következtében salakszerű lehűléstermékek keletkeznek az izzón folyós felszínen. Ezek ennél fogva mélyebben fekszenek, mint általában a világító felhőréteg szintje és a napfoltok magvát alkotják. A lehűtött helyek körül leszálló gázáramok keletkeznek, melyek a salakszigetek partjain áramlást indítanak s ennek köszöni eredetét a penumbra. Az áramlás terén belül keletkezett felhőszerű lehűléstermékek alapját és hőmérsékletét az áramló mozgás természete szabja meg. Alacsonyabb hőmérsékletük következtében kevésbbé fényesnek kell látnunk őket, mint a többi felhőréteget a Napon, a lefelé irányuló mozgás 'következtében pedig tölcsérszerű mélyedésnek kell látszania a folt fölött«.

ZÖLLNER a foltgyakoriság periodusos voltának magyarázatára is tett kísérletet. A folt első oka a Nap légkörének nagy nyugalma és tisztasága a kérdéses helyen. Ha a folt létrejött, akkor a folt maga vált ki erős mozgásokat a Nap légkörében, vagyis a folt maga rontja le a keletkezéséhez és fennmaradásához szükséges föltételeket, maga indítja meg a saját enyészését. Ezért minden folt csak ideiglenes jelenség. A légköri mozgások nem fognak pusztán a folt területére szorítkozni, hanem sokkal tovább kifelé is fognak terjedni. Ezért valamely folt környéke alkalmatlanná válik újabb foltok létrehozására. Másszóval a napfolt a nagyságától függő bizonyos távolságon belül oly hatást gyakorol a környezetére, hogy ezen a területen belül foltok további keletkezése akadályokba ütközik, vagy megnehezül. De ellentett irányban hat az a körülmény, hogy a légkörnek a foltkeletkezéshez szükségelt nyugalma bizonyára nagyobb területre terjedt ki, mint a milyent a későbbi folt jelez. E területen belül tehát megvan a törekvés több folt *egyidejű* keletkezésére. A foltcsoport létesítésére való törekvés, melyet már gyakran észleltek, ebben leli

magyarázatát. E szerint a Nap légkörében egymáshoz hasonló állapotok bizonyos fokig elősegítik egymást, különböző állapotok pedig akadályozzák vagy kizárják egymást s ebből keletkezik a hasonló állapotok egyidejű fennállására való törekvés.

A meddig ez a törekvés csupán az említett pontoktól való aránylag kicsiny távolságokra szorítkozik, addig minden egyes foltcsoportot teljesen különálló, más csoportoktól független jelenségnek kell tekintenünk, melynek helye, keletkezése és tartama más foltokkal szemben viszonylag véletlen körülményektől függ. Ilyen föltevés mellett tehát a Nap felszínén egyidejűleg jelenlevő foltok átlagos számának és nagyságának valami állandónak kell lennie, hasonlóan a meteorológiai vagy statisztikai középhez. Mint minden efajta állandót, úgy ezt is a jelenségek valamely csoportjánál bizonyos határok között állandóan ható átlagos állapot külön kifejezésének kell tekintenünk. Ha kizárjuk a nem a Naptól eredő hatásokat, akkor alapjában csak két ok képzelhető, a melyek által a napfoltoknak ez az állandója az idővel változó mennyiséggé formálódhatik át, t. i. 1. a Nap közepes hőmérsékletének megváltozása és 2. az egyes foltok kölcsönös függése keletkezés, tartam és nagyság dolgában.

A mi az első okot illeti, úgy közvetlenül világos, hogyha a napfoltok lehűléstermékek, akkor átlagos számuknak és nagyságuknak határozottan jellemzőnek kell lennie a Nap kihűlési szakasza számára, minthogy minden egyéb, a tömeg és a chemiai alkotórészek viszonylagos mennyisége változatlan maradt. E szerint a hőmérséklet csökkenésével a lehűléstermékek átlagos mennyiségének folytonosan növekedniök kell, mígnem a Nap egész felszíne elsötétült. Ellenkező esetben pedig fogyniök kell egészen az eltűnésig.

Ha azonban a második ok működik közre, akkor bármilyen legyen is ennek a természete, a foltjelenségben megszűnik a *véletlen* s ezáltal a napfolt-állandó az időtől függő mennyiséggé változik át, mert állandónak csak addig tekinthető, míg a foltkeletkezés oka tisztára véletlen. Ha pedig a megfigyelés időtartamára nézve elenyésző kicsinynek tekintjük a foltoknak a hőmérséklet növekedésével illetve csökkenésével járó növekedését, illetve csökkenését, akkor az időtől való függés már csak mint oszcilláló függvény jut kifejezésre. Ha a függvény oszcillálását előidéző



okok hosszabb időn át állandók, akkor ezen idők alatt természetesen az idő periodusos függvényének kell tekintenünk, a mint a foltjelenség is az.

A foltmaximumok idejében a Nap egész felületén mennek végbe átalakulások, melyek a fáklyákra is kiterjednek. Ebből a körülményből arra következtethetünk, hogy a foltoknak az előbb említett hatás-szférája az egész napfelületre kiterjed. Az egyes foltok tehát nem helyi természetű jelenségek, hanem általános okoknak köszönhetik létrejöttüket. A hasonló állapotok egyidejű együttlétezésére való törekvés tehát az egész felszínre terjed ki. E föltevés értelmében a maximumból a minimumba való átmenet nem egyéb, mint nyomás- és hőmérsékletkülönbségek nagy kiegyenlítődési folyamata, mely a Nap egész légkörében egyszerre megy végbe. Ezek a különbségek a légkörben beállott nyugalom és tisztaság után az ezáltal elősegített kisugárzás következtében újra előállanak és az egész folyamatnak megismétlődését vonják maguk után. Ha az előidéző okok erre nézve állandók, akkor a periodus tartamának is közel állandónak kell lennie.

ZÖLLNER a következőképpen magyarázza a napfoltok térbeli eloszlását és azt, hogy elterjedésük csupán az egyenlítő két oldalán elterülő övre szorítkozik. A Nap légkörét alulról sugárzás és vezetés hevíti, míg a felső rétegek sugárzás folytán veszítenek hőt. A hővezetés következtében az alsó rétegeknek jelentékenyen melegebbeknek kell lenniök, mint a felsőknek. Ha az ilyen légkör teljes nyugalomban van, egyensúlya csak labilis lenne. A legkisebb zavar már maga után vonná, hogy az alsó levegő valahol fölfelé kezdjen áramlani, a miáltal valami keringés indulna meg. De a Nap forgása következtében a felszíni nehézségerő függvénye a heliocentrikus szélességnek; a nehézségerő az egyenlítőn a legkisebb, ennél fogva a megmelegített alsó rétegek fölszállásának főleg itt kell bekövetkeznie. Ámde ezek a mozgások visszahatással vannak a hőmérsékletnek a gömb felszínén való eloszlására. Az egyenlítőről kétoldalt fölemelkedő áramok nagyobb szélességek alatt ismét lefelé szállanak, miután útközben sugárzás által elveszítették annak a hőnek egy részét, melyhez alsó útjukban az egyenlítő felé a forró napfelszínnel való érintkezés-kor vezetés által hozzájutottak. Ennél fogva a forgó gömb sarki tájait mindig hidegebb gázáramok érik, mint az egyenlítői tájakat.

Ezáltal az egyenlítői öv hőmérsékletének emelkednie, a sarki táj hőjének pedig süllyednie kell.

Az említett áramlások következtében a légkörben kondenzációval egybekötött hőmérsékletcsökkenések keletkezhetnek, még pedig egyrészt a felszálló egyenlítői áram, másrészt az egyenlítői és sarki áramlásoknak a nagyobb szélességek alatt bekövetkező összekeverődése által. Az első esetben a fölemelkedő légtömegek kikerülnek a felszíni hővezetés hatása alól s azonkívül a fölemelkedéssel járó kitágulás következtében lehűlnek s a lehűlés lecsapódást von maga után.

Nem feltétlenül szükséges, hogy ezek a megszaporodott felhőképződmények láthatóvá is váljanak, mert hiszen hőmérsékletük még mindig igen magas. Ennélfogva az egyenlítői övben és a magasabb szélességek alatt vannak a túlnyomó légköri zavarok területei, a melyek között hasonlóan a földi passzátövekhez, a viszonylagos nyugalom területei foglalnak helyet, s éppen ezek azok a pontok, melyek a foltkेतkezésre legalkalmasabbak.

A protuberanciákat ZÖLLNER hatalmas hidrogénkitöréseknek tekinti, melyek a Nap belsejéből a folyékony felszínen áthatolnak. Ezért ő a protuberanciákat helyi egyensúlyzavarok forrásának tekinti a Nap légkörében.

Azt a tényt, hogy a Nap nem úgy forog, mint valami szilárd test, hanem hogy szögsebessége az egyenlítőtől a sarkok felé folyton fogy, ZÖLLNER azzal igyekszik megmagyarázni, hogy ez mechanikai visszahatás eredménye a légköri áramok és a folyékony napfelszín között. Ennek a matematikai vizsgálatnak természetesen csak folyékony napfelszín föltevése mellett van jelentősége. Ezért ZÖLLNER elmélete ma már csak kevés érdekeset nyújt s csak röviden fogunk vele foglalkozni. ZÖLLNER néhány előkészítő vizsgálat után megoldja a következő feladatot, mely az ő nézeteit tükrözteti vissza a Napon uralkodó állapotokról. Szilárd, forgó gömb felszínét a gömb méreteihez képest igen vékony cseppfolyós réteg borítja be egyenletesen, melynek részecskéi csak a párhuzamos körök síkjában tolódhatnak el bizonyos surlódással. E réteg fölött gáztömeg áramlik a sarkoktól az egyenlítő felé, mely a surlódás következtében érintkezésben áll a folyadék-réteggel. Kérdés, hogy mi az utóbbi réteg valamelyik részecskéjének sebessége mint a szélesség függvénye.



A feladat megoldása a Napra való különös alkalmazásban azt adja eredményül, hogy a sarki tájak kivételével, a honnét a légköri áramlások kiindulnak, a Nap egész felületén keleti szelek fujnak, melyeknek sebessége nő, a mint a szélesség fogy, és maximumukat az egyenlítőn érik el. Ennélfogva az izzón-folyós felszínfeletti áramok általában keletről nyugat felé irányulnak a belső, szabályszerűen forgó maghoz képest. A forgástörvény tehát csak következménye annak a késleltetésnek vagy hátráltatásnak, melyet a felső rétegek forgó mozgása a légkör sarki áramaitól szenved.

SECCHI *napelmélete* (1877). SECCHI volt az első egyike, a ki meg tudott szabadulni az izzón folyós felszín föltevésétől. Lényegében ő a Napot gázgömbnek tekinti, melynek sűrűsége kifelé fogy. A fotoszféra ennek a léggömbnek vagy a Nap légkörének csak egyik különös rétege. Az ő nézetei, KICRRHOFF és ZÖLLNER-étől eltérően, rendkívül számos saját megfigyelésre támaszkodnak s ezért még ma is figyelmet érdemelnek. Bár némelyik következtetése ma már tarthatatlan, azért az ő elmélete főbb vonásaiban mégis a mai asztrofizikusok többségének nézeteit képviseli. SECCHI idővel megváltoztatta nézeteinek némely részletét, úgy hogy egységes képet alig adhatunk róluk. Itt úgy fogjuk azokat ismertetni, a hogy ő 1877 körül NEWCOMB népszerű csillagászata számára szavakba foglalta.

A Nap világító, rendkívül magas hőmérsékletű test, a melyen a chemikusaink és fizikusaink előtt ismeretes anyagok és még néhány más ismeretlen anyag gőznemű állapotban van jelen. A gőz színeke vagy a nagy nyomás, vagy a magas hőmérséklet következtében folytonos. Ez a világító, fényes anyag alkotja a fotoszférát. (SECCHI tehát itt a fotoszféra nagy sugárzóképeségének okául a FRANKLAND-féle föltevést fogadja el, míg előbbi leírásában a fotoszférát határozottan ködszerűnek tekinti, azaz a fényátbocsátást izzó *folyékony* vagy szilárd részecskékre vezeti vissza.) Határát az izzó gázokhoz hasonlóan a test nehézségi ereje és az a hőmérséklet szabja meg, melyre a külső réteg a szabad világtérbe való sugárzás következtében csökken. A fotoszféra úgy látszik, kicsiny, fénylő szemecskékből van összetéve, melyeket valami sötét hálószerű választ el egymástól. Ezek a szemecskék, a granuláció, ama lángok csúcsai, melyek az alsó, fényelnyelő

réteg fölé emelkednek. Ettől az utóbbi rétegtől származik az említett hálózat.

A fotoszféra rétege fölött nagyon bonyolult szerkezetű légkör terül el. Alján helyezkednek el a nehéz fémgőzök, melyeknek fénye alacsonyabb hőmérsékletük folytán nem szolgáltat folytonos színeképet. De a hőmérséklet elégséges arra, hogy közvetlenül fényes vonalú színeképet adjon, a milyenek teljes napfogyatkozások alkalmával a napperemen észlelhetők. Ez a réteg nagyon vékony, a mennyiben vastagsága csupán  $1''-2''$ . KIRCHHOFF törvénye alapján ezek a gőzök elnyelik a fotoszféra színeképvonalait s így előidézik azokat a megszakításokat, a melyek mint sötét FRAUNHOFER-féle vonalak ismeretesek. A gőzök rengeteg mennyiségű hidrogéngázzal vannak keverve s a hidrogén oly nagy mennyiségben van jelen, hogy tetemesen az előbbi réteg fölé emelkedik s  $10''-16''$ -nyi és magasabb burkot is alkot. Ezt a burkot nevezzük chromoszférának. A hidrogéngáz mindig keverve van egy másik, egyelőre héliumnak nevezett anyaggal, melytől a protuberancia színekép sárga  $D_3$  vonala származik, s azonkívül egy második még könnyebb anyaggal, mely a zöld 1474  $K$  vonalat szolgáltatja. Az utóbb említett anyag a hidrogénnel még sokkal nagyobb magasságra emelkedik, de a Napszíneképben nem oly könnyen látható, mint ez. A Nap légkörében valószínűleg még egy másik, eddig biztosan még meg nem határozott anyag is előfordul. (SECCHI itt bizonyára a protuberancia-színeképben mindig jelenlevő, a szélső vörösben  $\lambda$  6770-nél levő vonalra gondol, melyről azonban ma már tudjuk, hogy a hélium egyik vonala.) E szerint úgy látszik, mintha a Nap légkörét alkotó gázok sűrűségük szerint lennének elrendezve, anélkül azonban, hogy határozottan külön lennének választva, a mennyiben a gázok diffúziója folytonos keveredést létesít.

Teljes napfogyatkozások alkalmával a Nap légköre korona alakjában válik láthatóvá. Magasságát nagyon nehéz meghatározni. A napfogyatkozások azt bizonyítják, hogy legmagasabb részei körülbelül egy napátmérőnyi magasságba nyúlnak. Kétségtelen, hogy még tovább is terjed és bizonyára az állatövi fénnnyel is kapcsolatban van. E légkör látható része nem gömbalakú; közepes szélességek alatt magasabb, mint az egyenlítő környékén, s legalacsonyabb a sarkokon. A chromoszféra alján a hidrogén



kis lángok alakjában jelenik meg, melyek igen vékony, keskeny szálabból vannak összetéve, úgy látszik, hogy ezek alkotják a fotoszféra granulációját. A nyugalom időszakában e szálak iránya merőleges a Nap felszínére; élénk tevékenység idejekor azonban többé-kevésbé hajlottak s gyakran szimmetrikusan a sarkok felé vannak irányítva.

A Napon soha sincs teljes nyugalom. A belsejében összer kerülő anyagok chemiai rokonságuknál fogva egyesülni igyekeznek s így szükségképpen mindenféle nagyon erős háborgásokat és belső mozgásokat idéznek elő. (SECCHI-nek ez a magyarázata már csak azért is tarthatatlan és ellenmondásban van saját adataival, mert ő is tudta, hogy ily magas hőmérsékletnél az összes elemek disszociálva vannak s így a chemiai rokonság egyáltalán nem is érvényesülhet.) Innen ered az a számos krízis, melyek a felszínen az alsóbb rétegeknek kitörésszerű, vagy gyakran valóban robbanásszerű fölemelkedésében nyilvánulnak. Az alantabb levő fémgözők, különösen a hidrogén, ilyenkor tetemes magasságra dobatnak, spektroszkópi megfigyelés szerint némelykor a Nap átmérőjének  $\frac{1}{4}$ -részét kitevő magasságig. E hidrogéntömegek a légköri hőmérsékletnél magasabb hőmérséklettel szállanak a légkör magasabb részeibe, ott mintegy úszva maradnak, kiterjeszkednek s létesítik, a protuberanciákat. A hidrogénprotuberanciák szerkezete teljesen hasonlít azokhoz a folyadékáramlatokhoz, melyek sűrűbb rétegekből fölemelkedve, ritkább rétegekbe diffundálnak. De még az alapjukon is tapasztalható nagy változékonyságuk, s az igen gyors változások a kiindulás helyén és a diffúziónál azt bizonyítják, hogy nem hatoltak át szilárd, ellenálló rétegben levő nyíláson.

Az említett kitörések gyakran nagyobb sűrűségű fémes gőzoszlopokkal járnak együtt, melyek nem érik el a hidrogén magasságát és természetük a spektroszkóp segítségével ismerhető fel. Némelykor parabolás sugarak alakjában látjuk őket visszaesni a Napra. Leggyakrabban a nátrium, magnézium, vas, kalcium stb. fordul elő; ezek valóban ugyanazon anyagok, a melyekről tudjuk, hogy ők alkotják a naplégkör alacsony fényelnyelő rétegét, a FRAUNHOFER-féle vonalak előidézőjét. Ezen körülményeknek szigorú és elkerülhetlen következménye az a tapasztalat, hogyha az ekként fölemelkedett tömeg a Nap forgása következtében

a légkör és az észlelő szeme közé kerülnek, akkor az elnyelés erősen észrevehetővé válik és sötét foltot idéz elő magán a fotoszférán. A fémes elnyelési vonalak ilyenkor ezen a tájon észrevehetően szélesebbek és elmosódottabbak s ha a felemelkedett tömeg elég magas és sűrű, akkor a már megfordított vonalak újbóli megfordulását láthatjuk, azaz mi magának az illető anyagnak fényes vonalait láthatjuk a folt alján. Ez gyakran előfordul a nagy magasságra emelkedő hidrogénnél, valamint a nátriumnál és magnéziumnál, melyeknek gőzei a legkevésbé sűrűek. Ez a napfoltok eredete. A foltokat fényelnyelő gőzök tömegei alkotják, melyek a Nap belsejéből előtörve a fény nagy részét visszatartják előlünk, ha a fotoszféra és az észlelő szeme közé kerülnek.

De ezek a gőzök nehezebbek, mint az őket körülvevő gázok, a melyek közé kerültek. Ezért saját súlyuknál fogva lefelé süllyednek s eközben a légkörben valami tölcserfélést létesítenek, mely sötétebb és erősebben elnyelő anyaggal van töltve. Innét származik a foltoknál észlelhető mélyedés. Ha a kitörés hirtelen volt vagy csak nagyon rövid tartamú volt, akkor ez a gőztömeg a fotoszférára visszaesve hamar izzóvá lesz, széjjelfoszlik s a folt hamar eltűnik. A Nap belső krízisei hosszabb időn át folytatódhatnak s a kitörés ugyanazon a helyen a Napnak több körülforgása alatt megmaradhat. Innét van a napfoltok állandósága. Mert a felhő kialakulása addig elhúzódhatik, míg nem a fotoszféra ismét feloldja, a mint azt a mi tűzhányóink gőzsugarainál láthatjuk. Végük felé közeledtükben a kitörések újból föléledhetnek s közel ugyanazon a helyen többször megismétlődhetnek s így alakban és helyzetben nagyon különböző foltokat idézhetnek elő.

A foltnál megkülönböztetünk központi részt, melynek neve mag (nucleus vagy umbra) s a magot körülvevő kevésbé sötét, penumbrának nevezett részt. Valóságban a penumbra fotoszférikus anyagnak sötét fátylaiból és szálaiból vagy áramaiból áll, melyek a sötét anyag felé törnek elő. Ezek az áramok nyelvalakúak, gyakran gömbalakú, vagy gyöngysorhoz, fűzfalevelekhez hasonló részekből látszanak összetéve lenni s nyilvánvalóan csak a fotoszféra szemecskéi, a melyek a folt közepe felé rohannak, s némelykor mintegy áthidalják.

Minden folt életében három időszakot kell megkülönböztet-



nünk: az első a keletkezés, a második a nyugalom, a harmadik a feloszlás időszaka. Az első időszakban a fotoszférikus anyag fölfelé lökődik s egyszersmind valami hatalmas forrongás következtében eltorzul, hasonlóan valami örvényhez, mely a körülötte levő folyékony áramok fölé emeli, és szabálytalan kiemelkedéseket alkot. A folt ilyenkor penumbra nélkül vagy pedig nagyon szabálytalan penumbrával jelenik meg. Ezeket a szabálytalan mozgásokat teljességgel lehetetlen leírni. Sebességük óriási nagy s néha több négyzetfoknyi területre terjednek.\*) De a fölfelé hajítás csakhamar megszűnik, a forrongás lassanként csökken s utána nyugalom következik. A második időszakban a földobott, forrongó anyag ismét visszafelé esik s többé-kevésbé gömbalakú tömegekké tömörülve súlyának megfelelően a fotoszférába igyekszik visszasülyedni. Innét van az a cső- vagy tölcészerű bemélyedés a fotoszférában s az a számos áram, mely a kerület minden pontjából jöve az említett sötét tömeg felé tör előre; de a közte és a kiáramló anyag közt való fény-ellentét eközben megmarad. A folt közel állandó köralakot ölt; az ellentétes állapot meglehetősen sokáig tarthat, valóban t. i. addig, míg a Nap belsejében végbemenő folyamatok új anyagot szállítanak. Ha ezek végre megszűnnek, akkor az eruptív tevékenység csökken és végül kimerül. A fotoszférától mindenünnen elárasztott fényelnyelő anyag feloldódott s a folt eltűnik.

E három szak létét a foltok és kitörések összehasonlító tanulmányozása igazolja. Ha valamely folt az első időszak alatt a Nap peremén van és ha a folt elég nagy, helyét fémes gőzök kitörései jelzik, bár a sötét része egyébként még láthatatlan. A legsötétebb foltokban nátrium-, vas- és magnéziumgőzöket lehet a legnagyobb mennyiségben és a legnagyobb magasságra emelkedve látni. A nyugodt, köralakú foltokat szép fáklyák, valamint hidrogénnek és fémes gőzöknek sugarai övezik körül, melyek nagyon alacsonyak, de a mellett nagyon fényesek. Vége felé közeledő foltnál nem látunk fémes kigőzölgéseket, legföljebb csak néhány rövid hidrogénsugarat, valamint mozgalmasabb és

\*) A gömbfelületen kerek számmal 41251 négyzetfok van. Minthogy a Nap átmérője 1 391 080 km, azért rajta egy négyzetfok = 147 370 000 km<sup>2</sup>. A Föld felülete kerek számban 510 000 000 km<sup>2</sup>.

magasabb chromoszférát. A megfigyelés egyébiránt arra tanít, hogy a kitörések rendszeren a fáklyákat kísérik, s hogy a fáklyákkal együtt ők is hiányzanak. Így tehát a Nap tevékenységét kettős tevékenységgel, a kitörésekével és a foltokéval kell mérni. Forrásuk közös, de a foltok igazában csak másodlagos jelenségszámba mennek, mely a kitörésektől és az anyagnak kisebb vagy nagyobb mértékű fényelnyelő képességétől függ. Ha a kilökött anyagok csak kevésbé abszorbeálnak, akkor egyáltalán nem is láthatunk foltokat.

A csupán hidrogénből álló kitörés nem létesít foltot. Hidrogénkitörések a napkorongon mindenütt láthatók, de a foltok csupán a tropusi övekre szorítkoznak, a hol a fémes kitörések kizárólag előfordulnak. Egyszerű hidrogénkitörések fáklyákat idéznek elő. Annak, hogy fényük erősebb, két oka van. Az első az, hogy a fotoszféra az elnyelő gőzréteg fölé emelkedik, mely nagyon sekély, csupán 1'' vagy 2''-nyi. A magasabb réteg ennélfogva kikerüli az alsóbbnak az elnyelését és így fényesebbnek látszik. A másik ok meg az lehet, hogy a hidrogén a kitörés alkalmával elmozdítja az elnyelő réteget és a fémes gőzök helyébe lép s ilyenkor jobban látható maga a fotoszféra. Így aztán végül a foltok csak másodlagos jelenség számba mennek, de azért mégis hírt adnak nekünk a sugárzó gömb belsejében végbemenő heves mozgásokról. A foltok gyakorisága a kitörések gyakoriságával jár karöltve. Ez a két tünetény együttesen jellemző a Nap tevékenységére. A foltok az egyenlítő két oldalán elterülő övekben otthonosak és ritkán mennek túl a  $30^\circ$  párhuzamos körön. Ez a kör tehát a Nap legnagyobb tevékenységének határa. Megjegyzendő, hogy a  $30^\circ$ -os párhuzamos kör a félgömböt két egyenlő területű részre osztja. E párhuzamos körökön túl fáklyákat még látunk, de foltokat már nem, vagy legföljebb elfátyolozott foltokat, melyek nagyon gyöngye fémes kitörésekre utalnak.

Oly folyadéktömeg, melynek egyes részei tetemesen különböző hőmérsékleteknek vannak kitéve, nem maradhat belső áramlások nélkül. Ezeknek a törvényeit eddig még nem ismerjük, de a következő tapasztalatok eléggé biztosak. A foltövek nincsenek szilárdan egy helyhez kötve, hanem az egyenlítőtől a sarkok felé haladó mozgást árulnak el. Bizonyos magasabb szélességbe jutva a foltok kezdenek tűnedezni, de alantabb levő szélességekben némi idő múlva ismét feltűnnek és újból tovább haladnak a sarkok



felé. A helyváltozásnak eme szakai között rendszeren foltminimum szokott előfordulni. A tevékenység időszakában a protuberanciák éppen úgy, mint a chromoszféra lángjai, túlnyomóan a sarkok felé vannak irányítva. Ez a fotoszférának az egyenlítőől a sarkok felé irányuló általános mozgására vall. Ezt a mozgást a kitörések és protuberanciák övének helyváltozása is elősegíti, melyek úgy látszik, mindig a sarkok felé mozdulnak el.

A szélesség irányát követő mozgáson kívül a fotoszférának még hosszúságmenti mozgása is van, mely legnagyobb az egyenlítőn. Mindebből arra következtethetünk, hogy az egész tömegben örvénylő mozgások mennek végbe, melyek a délkörökhöz ferde irányban az egyenlítőől a sarkok felé haladnak. E mozgások elméletét még ki kell dolgozni. Kétségkívül összefüggésben állnak a Nap keletkezésének történetével.

A Nap tevékenysége tetemes ingadozásoknak van alávetve, melyeknek legbiztosabban megállapított periodusa  $11\frac{1}{3}$  év. Azonban a naptevékenység gyorsabban nő, mint fogy; a növekedés ideje mintegy 4 évig, a fogyásé mintegy 7 évig tart. Ezzel a tevékenységgel a földmágnesség tüneményei is összefüggésben vannak, de azt, hogy milyen módon, még nem tudjuk. Lehet, hogy a Nap közvetlen elektromágneses hatást gyakorol a Földre, de közvetett hatásra is gondolhatunk, mely a Nap hőhatásából ered és a mely saját mágnesességére visszahat. Nagyon természetes az a föltevés, hogy a középponti test tevékenysége tetemesen módosítja és befolyásolja a naprendszeret betöltő étert. De arról, hogy mi lehet e tevékenység változásának az oka, semmit sem tudunk. A bolygók hatására gondoltak. De ez a magyarázat egyáltalán nem elegendő. A helyes magyarázatot valószínűleg csak akkor tudjuk meg, ha megismerjük annak a kapcsolatnak a természetét, mely a hőt, az elektromosságot, a mágnességet és a gravitációt egymással összefűzi.

A Nap belsejéről nincsen biztos ismeretünk. A felszínen uralkodó hőmérséklet, jöllehet a hőveszteség folytonos, igen nagy. A Nap belsejének hőmérséklete nem lehet amannál kisebb. Következésképpen itt nem lehet szilárd réteg, kivéve talán csak oly mélységekben, hol a nehézség okozta nyomás eléri vagy túl-szárnyalja a hőokozta molekuláris kitágulást. Bármint legyen is, annyi kétségtelen, hogy a műszereinkkel való kutatásnak hozzá-

férhető réteg folyékony és gáznemű. Ilyenformán meg tudjuk magyarázni a napátmérőnek ama változásait, melyeket némely csillagászok észleltek. E kis ingadozások daczára a Nap hősugárzása a bolygórendszeren belül hosszú időközön át állandó s az volt különösen a történelmi koron át. Ennek az állandóságnak több oka van. Elsősorban a Nap óriási tömege, mely a nagyon magas hőmérséklet miatt csak nagyon lassan hűlhet le, ellentétben a laboratóriumi sugárzás törvényeivel; azután a tömegnek a hővesztéssel járó összehúzódása; végül talán a Nap egész tömegében végbe menő kémiai folyamatokból származó disszociációs- vagy bomlás-hő kisugárzása.

A Nap hőjének eredetét a gravitációban kell keresnünk. Kimutatták, hogy a Nap tömege, miközben a naprendszer határaitól jelenlegi térfogatára zsugorodott, nemcsak jelenlegi hőjét hozhatta létre, hanem ennél néhányszorosa többet is. E hőmérséklet abszolút értékét nem tudjuk biztosan megállapítani. Mint-hogy a tudomány eddig még nem kutatta ki azt az összefüggést, mely a molekuláris eleven erő s a távolba való sugárzás intenzitása között fennáll, a mely utóbbi az észleléseinknek egyedül hozzáférhető mennyiség, azért kellemetlen bizonytalanságban vagyunk (a melyet közben a PLANCK-féle egyenlet megszüntetett). Mégis a mi hőmérőnkkel mérve ezt a hőmérsékletet több millió fokra kell becsülnünk s oly nagynak kellett lennie, hogy az összes ismert anyagok gőzállapotban maradtak meg.

SECCHI-nek most közölt ismertetéséből világosan megállapíthatók felfogásának hibái és előnyei. Fejtegetéseinek matematikafizikai eszmemenete ZÖLLNER elméletéhez képest visszaesést jelent. De azon már említett érdemen kívül, hogy az izzón-folyós napfelszín eszméjétől megszabadult, további nagy érdeme az a határozott kijelentés, hogy bár a napfoltok a legfeltűnőbb jelenség a Napon, de azért mégsem a legfontosabbak, a mik mellett minden más tünetény háttérbe szorul; ellenkezőleg, ő a foltokat csak másodlagos jelenségeknek tekinti.

Mint majdnem valamennyi kartársa, SECCHI is azt gondolta, hogy a Napon észlelt tünetények nemcsak óriási méretűek, hanem hogy óriási tömegek is működnek közre. Ő mindezeket a tünetényeket nagyon anyagiasan képzei el, egészen olyanformán, mint a vulkáni jelenségeket a mi Földünk felszínén.



A legújabb elméletek vívmánya az a számos megfigyelésből felépített ismeretünk, hogy a Nap légköre, a mennyire észleléseinknek hozzáférhető, felette ritkított állapotban van, és hogy legföljebb csak a legalsó rétegekben éri el a mi légkörünknek földfelszíni sűrűségét.

FAYE *napelmélete* (1877). FAYE napelméletének alapgondolatát a mi légkörünknek meteorológiai jelenségeiből, különösen a ciklonok nyomás-minimumának képződéséből merítette. A forgássebességnek csökkenése a sarkok felé csak abból származhatik, hogy a nagy mélységből a felszín minden pontja felé szüntelenül föltörő anyagok függőleges irányban szívódnak fel. Ehhez csak azt szükséges föltenni, hogy a mélység, a melyből a függőleges áramok erednek, a sarkok felé növekszik. A fölfelé szálló forró áramok a felszínen lehűlnek. Az áramokat alkotó gázok részben összesűrűsödnek s esőhöz hasonlóan lefelé zuhanó áramokban esnek vissza. Bizonyos mélységben újból fölmelegednek és ismét fölfelé szállnak. Ezzel a Nap belsejéből történő kiegyenlítéssel tartja fenn magát a fotoszféra magas hőmérséklete, mely különben nagyon gyorsan leszállna. Minhogy a fotoszférával szomszédos övek különböző sebességekkel mozognak, ezért nagyon sok függőleges tengelykörüli forgás vagy örvény keletkezik. Utóbbiak a fotoszféra áramait ugyanolyan módon követik, mint a ciklonok a mi légkörünk felső áramlásait. Ezekhez hasonlóan lefelé szállanak s a Nap mélyebb részeibe vezetik a felsőbb rétegek hidegebb, főleg hidrogénből álló részeit s így közepükben határozott fény- és hőelnyelést idéznek elő mindaddig, míg az örvénylő mozgás tart. Az örvény alsó részén szabaddá lett hidrogén végül újból fölmelegszik és az örvényen keresztül viharosan fölfelé tör, hol szabálytalan sugarakat alkot, melyek a chromoszféra fölött jelennek meg. Ezek a protuberanciák.

A Nap örvényei a földiekhez hasonlóan minden nagyságban előfordulnak, az alig látható pórusoktól kezdve a legnagyobb foltokig. Bennök is határozottan fölismerhetjük azt a törekvést, hogy megnövekedjenek s azután foltok sorozatára széjjelfoszoljanak úgy, hogy a foltok sorok párhuzamos kör mentén helyezkednek el. A penumbra a fotoszféra azon részéből keletkezik, mely az örvény által előidézett hőcsökkenés miatt alacsonyabb réteget alkot tölcseyszerű felülettel.

A felsoroltakon kívül még számos napelméletet fejtettek ki. Sorukból még a YOUNG- és LANGLEY-félét emeljük ki. Az összes elméletekben megtaláljuk azt a nézetet, hogy a földi légkörünkben uralkodó törvények bizonyos mértékben a Nap légkörére is alkalmazhatók. A földi légkör keringése a forró öv fölszálló levegő-áramainak köszöni eredetét, melyek a sarkok felé folynak és az alsó, ellenkező irányban haladó sarki áramokkal találkoznak. A mi szélességeink alatt az időjárás nagyon változó, mert itt már folyik a küzdelem a két áram között. A földi meteorológiai viszonyokban rendkívüli bonyolultság áll be azért, hogy a különböző évszakokban a Nap állása különböző, valamint a már meglevő felhőzet által, a mennyiben a felszálló áramokat előidéző hőforrás a légkörön kívül fekszik. A Napon a hasonló viszonyok annyiban egyszerűbbek, a mennyiben a hőforrás itt belül van.

OPPOLZER *napelmélete*. A mi légköri viszonyainkra alapított újabb napelméletek közül a legfigyelemreméltóbb talán az OPPOLZER-féle elmélet. OPPOLZER a fotoszféra fölött levő gázok ritkulását oly erősnek véli, hogy a mechanikai hőelmélet törvényei közvetlenül alkalmazhatók. Elmélete szigorú matematikai számításra alapszik, a mi egyrészt fölönye ugyan, de másrészt népszerű ismertetését természetesen nagyon megnehezíti.

A gravitációnak alávetett, alulsó részében sűrűbb, fölül ritkább gáztömeg állapota nagyon különféle lehet. Ha valamely fölszálló légrésezecskénél fölhajtó erő és nehézség egymással egyenlők, akkor az a gáztömeg közömbös egyensúlyban van. Ez a föltétel azonban attól a további föltételtől függ, hogy a fölszálló részecske hőmérsékletének mindig meg kell egyeznie a környezet hőmérsékletével. Ekkor a fölszállásnál a levegőnek úgynevezett adiabatikus kitágulása megy végbe. Ezt az egyensúlyállapotot már előre is a legtermészetesebbnek kell tekintenünk, mert az összes mozgások, áramlások és keveredések ennek előidézésére törekшенek.

OPPOLZER először is megmutatja, hogy ez az adiabatikus állapot a Nap légkörében nem állhat fenn, mert különben a hidrogénlégkörben csak 1''-nyi (720 km-nyi) magasságkülönbségnél is már 13 700°-nyi hőmérsékletkülönbségnek kellene lennie. 8''-nyi magasságban, hol még izzó fémgözzök vannak jelen, a hőmérséklet eszerint 100 000 fokkal lenne alacsonyabb, mint a

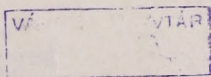


fotoszférában, azaz ilyképpen teljesen lehetetlenül magas, illetve alacsony hőmérsékletekre bukkannánk. Itt megemlítjük, hogy a fotoszféra hőmérséklete semmiesetre sem haladja meg a 10 000 fokot, a mint azt később ki fogjuk mutatni. Az adiabatikus állapot nemlétéből következik, hogy a Nap légkörének felsőbb rétegei sokkal melegebbek, mint a hogy ez az állapot követelné s hogy ennél fogva az egyensúly is rendkívül stabilis. OPPOLZER ebből azt következteti, hogy az isothermikus egyensúlyállapot, bár az ellenkező irányban túlozza a viszonyokat, sokkal jobban közelíti meg a valóságot, mint az adiabatikus állapot. Isothermikus állapot fölteveése mellett megvizsgálja különböző gázoknak viszonylagos eloszlását különböző magasságokban. Ilyen vizsgálatot különben már ZÖLLNER is végzett. E vizsgálatból kitűnik, hogy ebben az eloszlásban óriási különbségek vannak. Ha pl. fölteszük, hogy 8''-cel a fotoszféra alatt a hidrogén és oxigén sűrűsége ugyanaz, akkor az oxigén a fotoszférában egy szeptilliószer kevésbé sűrű lenne. Ez 50 000<sup>o</sup>-os hőmérsékletnél van így. Alacsonyabb hőmérsékletnél még szélsőbb viszonyok uralkodnának. Másik példaképpen oly napfolt szolgál, melynél a bemélyedés 0.7''. E mélyedés alján a hidrogén csak kétszer olyan sűrű, mint a színén, az oxigén ellenben 60 000-szer sűrűbb. Ebből látható, hogy a napfoltok színképében egyes elemek vonalai sokkal nagyobb mértékben szélesedhetnek ki más elemek vonalainál. OPPOLZER magától értetődőnek tartja, hogy a napfoltokon belül alacsonyabb hőmérséklet uralkodik, mint a környezetben, de hogy a folt fölött a hőmérséklet magasabb a környék hőmérsékleténél. Kimutatja, hogy adiabatikus kitérülésnél sem fölfelé, sem lefelé szálló áramokkal nem lehet a foltok lehűlését megmagyarázni és hogy az örvényekben FAYE szerint létrejövő lehűlés sem jöhet szóba. Nézete szerint a magyarázatnak csak egyetlen lehetősége marad még hátra, t. i. lehűlés helyenként megnövekedett kisugárzás következtében, a mint azt már KIRCHHOFF és ZÖLLNER föltette. Maga a sugárzásnagyobbodás a légkörnek a felső forró réteg által előidézett tisztaságából ered. OPPOLZER szerint a foltkeletkezés folyamata a következő: A fotoszféra fölött valamely ponton, később elmondandó okból, hőmérsékletemelkedés következik be. Ezáltal a fotoszféra legfelsőbb rétegében a kondenzációs termékek feloldódnak s erős

derű keletkezik, mely mint a fotoszféra bemélyedése nyilvánul s az alatta levő részek erősebb kisugárzását s ezáltal lehűlését idézi elő.

Még hátra van a foltok főokának, a helyi hőemelkedésnek magyarázata. Ez a magyarázat az OPPOLZER-féle elméletnek a magva. A hőemelkedést valamely leszálló áram idézi elő. Az ilyen, hidegebb rétegből származó áram nem lehűlést idéz elő, a mint azt első pillanatra gondolhatnók, hanem tetemes hőemelkedést. OPPOLZER bebizonyítja, hogy a csak 1"-nyire leszálló áramnál már 5000<sup>o</sup>-os hőemelkedésnek kell bekövetkeznie s hogy ennél-fogva a leszálló áram igen bőséges forrása a hőmérsékletemelkedésnek. A lefelé irányuló mozgás azonban nem folytatódhatik akármilyen mélységig, hanem a folt belsejében meg kell szünnie. Ennek oka a megmelegedés előidézte fölhajtó erőben rejlik. Az áram lefelé száll, a fölhajtó erő ennek ellenében működik, a foltban ennél-fogva nyomásemelkedés következik be, teljesen úgy, mint a mi anticiklonainknál, melyek télen sokszor egész Európa fölött terülnek el s magas barométerállás mellett derült hideg időt s egyúttal az anticiklontól kifelé irányuló szeleket idéznek elő. A leszálló áramok oka a Napon bizonyára ugyanaz, mint a Földön: a fölszálló áramokra következő ellenhatás, melyek oka a Földön nagyon egyszerű.

A foltoknak ezen magyarázatából OPPOLZER ezután levezeti a fotoszféra sajátos forgását és a foltok héliografikus eloszlását. Ha a napfoltokat oly területnek tekintjük, melyekben az áramok lefelé szállanak s a melyeknek természetszerűen valahol másutt fölszálló áramok területei kell hogy megfeleljenek s ezenkívül latbavetjük, hogy a foltok övszerűen rendeződnek el, akkor mindez valami közös eredetre mutat. Ezt az eredetet ugyan az egyenlítőn sejtethetjük, pedig nem ott, hanem sarki tájakon kell keresnünk. Valamely folt-öv ugyanis kis szélességek alatt, sőt magán az egyenlítőn is vonulhat, miközben magasabb szélességek alatt már új erős folt-vonulat veszi kezdetét. Minimum idején ez mindig így van. Mint a mi légkörünkben az egyenlítőn, úgy a Napon a sarki tájakon uralkodnak fölszálló áramok, melyek bizonyos magasságban mint vízszintes áramok hosszan elnyúlt spirálisokban vonulnak az alacsonyabb szélességek felé, hol mint keleti szél jelentkeznek s ha leszállanak, mint foltok tűnnek fel.





Hónapokig, sőt évekig tarthat, míg valamely áramlat a sarktól az alacsonyabb szélességekbe érkezik. Ez a fölszálló áram sebességétől függ. Ha a fölszálló sarki áram intenzitását fölváltva majd növekvőnek, majd csökkenőnek képzeljük, akkor könnyen rájuthatunk a foltok heliografikus eloszlásának okára. Ha foltminimum idejében az említett áram intenzitása nőni kezd, akkor a foltok már magasabb szélességek alatt fognak lefelé haladni, folyton növekvő intenzitása maga után vonja, hogy az alacsonyabb szélességek foltokkal árasztatnak el. Foltmaximum következik be, miközben az áram majdnem már meg is szűnhetett. Magasabb szélességek alatt a foltok el fognak tűnni, mialatt a Nap körül még keringő keleti szelek végül mint minimumfoltok szállnak le az egyenlítő közelében. Eközben az előbbi folyamat újból kezdetét veszi. Ez egyszersmind megmagyarázza a sajátságos forgást is. A sarkok felől jövő áramok kicsiny sebességet hoznak magukkal s ezt hosszabb időn át megtartják az alsóbb rétegekkel való csekély surlódás következtében. De ha a Napot néhányszor megkerülték, akkor a surlódásnak valamelyes hatása mégis csak érvényesülni fog. Ennek az lesz a hatása, hogy az alacsonyabb szélességek alatt uralkodó keleti szelek napi forgásszöge nagyobb-nak mutatkozik, mint a magasabb szélességek alatt keletkező szeleké, melyek a surlódásnak kevésbbé voltak kitéve. A Nap felszínén végbemenő tűnemények is nagy valószínűséggel a mellett szólanak, hogy a sarkokon fölszálló áramok vannak jelen. A sarki tájak a Nap csendes övei. Ezen föltevés mellett látszanak szólani azok a gyakran óriási méretű felhős protuberanciák is, melyeknek átlagos magassága nagyobb a többi protuberancia magasságánál; ezek szabadon lebegnek a fotoszféra fölött s mégis alulról megújulnak anélkül, hogy valami összefüggést lehetne látni, bár néhol valami oszlopalakú összefüggés van köztük. E protuberanciák főleg a sarkok tájékán a Napnak egy teljes körfordulása alatt is megmaradnak. Ha nem a sarkok magasabb hőmérséklete okozza az említett sarki áramot, akkor mindenesetre magának az áramnak kellene a sarkokon felmelegedést előidéznie. Ennélfogva a sarkok koronként melegebbek lesznek, mint az egyenlítő. Ez az állapot minimum idején fog legerősebben jelentkezni, ha ugyan egyáltalán kimutatható. Ezen állítás mellett szól a kromoszférának az a különben egészen rejtélyes viselkedése,

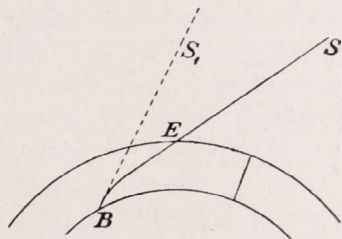
hogy ebben az időben a két sarkon felgyülemlik, míg a minimum előtti évben a magassága az összes szélességek alatt állandó.

OPPOLZER az időszakos sarki áramok föltevésével egyetlen problémára vezette vissza a Nap forgásának, a foltok gyakoriságának és héliográfikus eloszlásának kérdését. De magának az időszakosságnak oka magyarázatlan marad.

SCHMIDT *napelmélete*. A napelméletek történelmi fejlődése oly irányban halad, mely mindinkább azon igyekszik, hogy megszabaduljunk attól a hatalmas benyomástól, melyet a Napon tőlünk rengeteg távolságban végbemenő tűnemények reánk gyakorolnak s hogy őket ugyan nagy méretű, de valamely légkör rendkívül ritka felsőbb rétegeiben végbemenő jelenségeknek tekintsük. E tekintetben már elértük a legszélsőbb következmények határát: a jelenségeket már egyáltalán nem is tekintik többé reálisaknak, hanem optikai csalódásoknak, a melyeknek egészen más okai vannak, mint a minőket a látszat mutat. E nézetek a SCHMIDT-féle napelméletből indulnak ki, mely szerint a Nap izzó gázgömb, kifelé folyton csökkenő sűrűséggel, minden fizikailag megkülönböztethető határréteg nélkül. Fotoszféra valóságban nincs, hanem csak látszólag jön létre az ilyen gázgömbben végbemenő sugártörés általános tulajdonságai következtében. Egyébként ezen elméletnek matematikailag kifogásolhatatlan alapjait már KUMMER adta meg 1860-ban.

A SCHMIDT-féle elmélet megértéséhez csak az ismeretes csillagászati sugártörés tűneményére kell emlékeztetnünk, a hogy az a földi légkörben jelentkezik.

A 160. rajzon a belső kör jelentse a földfelszín valamelyik keresztmetszetét, a külső kör pedig a légkör határát, melynek sűrűsége kívülről befelé növekszik. Az  $S$  csillagból kiinduló fénysugár  $E$ -nél ferdén éri a légkört s ezután egyenes útjától mindinkább eltérül, úgy hogy görbülete lefelé mindinkább növekszik, míg nem  $B$ -nél eléri a Föld felszínét. Az  $e$  pontban levő megfigyelő a csillagot természetesen annak az iránynak egyenesvonalú folytatásában látja, melylyel a fénysugár a szembe érkezik, tehát rajzunkon



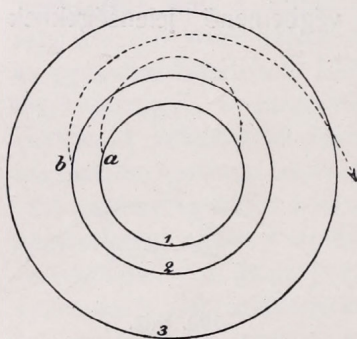
160. rajz.



$S_1$ -ben. A csillag a valóságnál magasabban látszik. A valóságos és látszólagos magasság közti különbség annál nagyobb, mennél közelebb van a csillag a horizonhoz. Ha a csillag kissé a horizon alatt van, a sugártörés következtében a horizon felett látszik.

Világos, hogy a 160. rajzon semmi sem változik, ha a fény nem a csillagból kiindulva  $B$ -be érkezik, hanem ha  $B$ -ből a  $B S_1$  irányban indul. A sugár akkor  $E$ -nél elhagyja a légkört s az  $ES$  egyenes irányában folytatja útját.

Könnyen elképzelhető, hogyha a légkör sokkal magasabb s az alján sokkal sűrűbb, akkor valamely  $B$ -ből ferdén kiinduló



161. rajz.

sugár oly erősen görbül, hogy a légkörből többé nem is léphet ki, hanem abba ismét visszatér, vagy igen hosszú utat tesz meg a légkörben, míg azt végül az eredetétől valamely nagyon távoli ponton elhagyja.

A 161. rajz oly gömböt ábrázol, melynek sűrűsége belülről kifelé fogy. Az 1, 2 és 3-mal jelzett körök három réteget jelölnek, köztük a 3 a légkör külső határa.

Az 1 rétegből kiinduló fény-sugár oly erősen görbül, hogy nem is léphet ki a légkörből, más szóval az  $a$  pontból a rajzon jelzett irányban kiinduló fény kívülről nem is látható. Ellenben a  $b$ -ből ugyanazon szög alatt kiinduló fény végighalad a gázgömb fél kerületén s majdnem érintői irányban lép ki belőle. E két réteg között oly rétegnek kell lennie, melyből a fény még éppen kiléphet. Ennek a rétegnek optikailag éles határrétegnek kell látszania, mert az alantabb fekvő rétegből kiinduló fény csak akkor hagyhatja el a gázgömböt, ha az érintővel alkotott szög nagyobb, mint a határ esetben bezárt szög. Minthogy a gömbben ez a réteg szimmetrikusan fekszik, azért a gázgömb valamely külső pontról szemlélve élesen határolt köralakú korong, éppen úgy, mint a Napnál tapasztaljuk.

Minthogy a fotoszférának, vagy ennek a határrétegnek színképe folytonos, azért a SCHMIDT-féle napelmélet hívei fölteszik, hogy a határréteg oly mélységben fekszik, a melyben a gázok

erős nyomása következtében az eredeti vonalas emissziós színkép folytonos színképpé változott át. Úgy tetszik, mintha ez a föltevés egyáltalán nem is lenne szükséges, amennyiben a KIRCHHOFF-féle törvény értelmében végtelenül vastag, illetve nagyon vastag gázréteg úgy sugárzik, mint valamely fekete test, azaz folytonos színképet szolgáltat.

SCHMIDT föltevését a következő három tételbe foglalta:

1. A Nap nem határolt égitest. Különösen nincs határfelület a naptest és a napléggör között.

2. A napkorong pereme szabályos sugártörés eredménye oly léggörben, melynek sűrűsége a látszólagos határ tájékán sokkal csekélyebb, mint a levegőnek földfelszíni sűrűsége.

3. A napfáklyák és a protuberanciák szabálytalan sugártörés eredményei. A protuberanciák fénye a Napnak a látszólagos határ alatt fekvő valamely részéből származik.

A protuberanciák a rétegekben végbemenő szabálytalanságokból, siódzásokból keletkeznek, melyek a perem szabályos alakját eltorzítják. SCHMIDT különbséget tesz piros és fehér protuberanciák között. Az előbbiek fénye teljesen egyezik a kromoszférával, az utóbbiak pedig folytonos színképet szolgáltatnak. Elég, ha ezt itt épen megemlítjük, mert ennek az állításnak teljesen elhibázott volta abból a tényből következik, hogy a vörös protuberanciák színképének ibolya és ibolyántúli részében igen erős kalciumvonalak vannak.

Magának a fotoszférának szabálytalanságai, mint például a granuláció és a foltok, elnyelő gáztömegek föltevésével hasonló módon megmagyarázhatók.

A fotoszféra magyarázatának matematikailag kifogásolhatatlan elvét is kevésbé tetszetősnek találják mindazok, kik gyakorlatilag foglalkoztak a naptünemények tanulmányozásával. A Napon végbemenő egyes folyamatok szemlélésekor nehéz megszokni azt a gondolatot, hogy mindaz, a mit látunk, nincs is meg a valóságban s hogy valamely jelenség oka nem ott keresendő, a hol a jelenség végbemegy, hanem egészen másutt, a Nap ellenkező oldalán, esetleg oly ponton, a melyből kiindulva a fénysugár egyszer már egészen körülfutotta a Napot. De a legsúlyosabb aggályt külön kell kiemelnünk. A fény keletkezése helyén az elmélet szerint a gázok sűrűsége oly nagy, hogy folytonos szín-

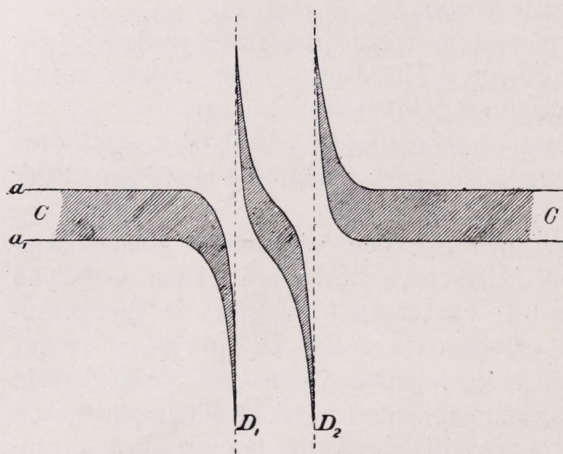


képet szolgáltatnak s mégis a fénysugár több százezer kilométernyi útát tesz meg e gázokban, anélkül hogy elnyeletnék. Véggövetkeztetésünk ez: Az elmélet matematikailag helyes, a mennyiben valamely fotoszférára vonatkozik. Képzeltető, hogy vannak oly égitestek, a melyekre az elmélet illik. A Nap azonban nem tartozik ezek közé. Így lehetséges azután, hogy a SCHMIDT-féle elméletnek a fizikusok körében számos híve van, azonban nagyon kevés a csillagászok között, kik a Napon végbemenő

tüneményeket saját megfigyelésből ismerik.

A JULIUS-féle *diszperziós elmélet*.

A diszperziós elmélet a Nap légkörének SCHMIDT-féle magyarázatához csatlakozik, a mennyiben egyes tünemények elégtelen magyarázatát teszi meggyőzővé. Az elmélet a rendellenes színszóráson



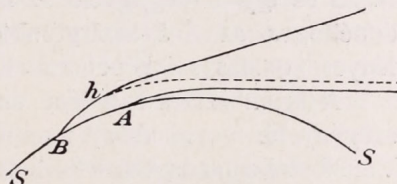
162. rajz.

alapszik, a melyről a 173. lapon elmondtuk a legszükségesebbet. JULIUS a rendellenes színszórást a Nap tüneményeire alkalmazta. Mi itt PRINGSHEIM kifejtését követjük. A 174. lapon közölt rajzot itt újból közöljük.

Képzeljünk el oly megfigyelőt, kinek spektroszkópja oly távol van a nátriumlángtól, hogy nem tudja egyszerre áttekinteni a 162. rajzban feltüntetett jelenséget, hanem ennek csak egy részét. Ennek a megfigyelőnek nehéz lesz a látott jelenséget helyesen magyarázni. Ha a színeképet az  $a$   $a_1$  szélességben látja, akkor folytonosnak fog feltűnni a két  $D$  vonallal mint széles sávokkal s valószínűleg azt a föltevést fogja megkockáztatni, hogy ezek a sötét sávok *kiszélesedett* abszorpcziós vonalak, s hogy ennél fogva nagyon sűrű nátriumgőz van jelen. De a valóságban a fény nincs is abszorbeálva, hanem törés folytán el van térítve

az  $a$ -tól  $c$ -ig és  $a_1$ -tól  $c_1$ -ig terjedő térbe. *Ennélfogva a rendellenes színszórás az elnyelési vonalak kiszélesedésének csalóka látszatát keltheti.* Anapfoltok színekében a FRAUNHOFER-féle vonalakat részben erősen kiszélesedve látjuk. Míg a sötét vonalak egy része majdnem ugyanolyan alakú, mint a rendes fotoszféra színekében, addig más vonalak majdnem teljesen láthatatlanok, egyébként vékony vonalak kiszélesednek, erős vonalak vékonyodnak. Talán mi is itt az előbb említett észlelő helyzetében vagyunk, talán a FRAUNHOFER-féle vonalak megfigyelt kiszélesedése nem fényelnyelésen alapszik, hanem rendellenes színszórás s a hiányzó fény olyan tájék felé töret meg, a melyen nem láthatjuk. Akkor azt kellene föltennünk, hogy a napfoltok oly helyek, a melyeken a gáznemű légkör sűrűsége pontról-pontra erősen változik. Ilyen sűrűségváltozás — még pedig belülről kifelé növekvő sűrűség — pl. akkor keletkeznék,

ha a napfoltokat a Nap légkörében végbemenő örvénylő mozgásoknak vagy leszálló erős áramoknak tekintenők. Ezzel a föltevessel a SCHMIDT-féle elmélet alapján a foltbeli fényeloszlást,



163. rajz.

a fő- és félárnyékok is megmagyarázhatnók. Ha a tűneménynek az a része jut a látómezőbe, mely a  $b$  és  $c$  vagy  $b_1$  és  $c_1$  közti területen fekszik, akkor a megfigyelő két finom, fényes vonalat fog látni, melyek a  $D$  vonalak közvetlen közelében vannak és ezektől csak nagyon nehezen különböztethetők meg. Az észlelő valószínűleg abban a hiszemben lesz, hogy magukat a  $D$  vonalakat látja s hogy világító  $Na$ -gőztől saját fény gyanánt kisugárzott fénynyel van dolga. *A rendellenes színszórás ennélfogva vonalas színek látszatát keltheti,* míg valójában a fény oly fényforrásból ered, melynek folytonos színekpe van.

A kromoszféra és a protuberanciák vonalas színekpet szolgáltatnak (úgyszintén a megfordító réteg is a flash-spektrumban). Bár kétségtelenül a kromoszférában világító gázok is vannak jelen, azért mégis megkíséreljük ezt a jelenséget azon föltevés mellett szemügyre venni, hogy az észlelt fény nem a gázok saját fénye, hanem egészben vagy legalább nagyobb részben a Napnak fehérén világító belsejéből származik s rendellenes színszórás



következtében akként van megtörve, hogy a látszólagos nap-peremen kívül láthatjuk. A 163. rajzban  $SS$  legyen a SCHMIDT-féle határgömb. Általában valamely belőle közel érintői irányban, például  $A$ -nál, kilépő fénysugár a sugártörés következtében gyöngén görbült úton jobbra fölfelé fog kerülni, hol a megfigyelőt képzeljük. Ha  $A$  fölött izzó gáztömeg van, pl. egyenlőtlen sűrűségű nátriumgőz, akkor az a fény, melynek hullámhosszúsága a gáz színképvonalaiával közel megegyezik, pl. a  $D$  vonalakkal szomszédos fény, a rendellenes színszórás következtében erősebben térül el, mint a többi fény. Ily hullámhosszúságú sugarak tehát  $h$ -tól jobbra fölfelé fognak kerülni, bár a határgömböt  $B$ -ben közel érintői irányban hagyták el, tehát oly pontban, a melyből a rendesen megtört fény nem fölfelé, hanem egyenest jobbra halad és így a megfigyelő számára láthatatlan marad. Az észlelő ennél fogva az  $SS$  határgömbtől látszólag határolt Nap fölött fényes vonalas színképet mutató területet fog látni.

A kromoszféra színképe általában annál egyszerűbb, annál szegényebb vonalakban, mennél távolabb van a Nap peremétől. Vonalban leggazdagabb a flash-spektrum, mely közvetlenül a nap-peremmel határos részekből látszik származni. A régi felfogás alapján, mely kizárólag világító gázok emissziós színképéről tud, tehát azt kell föltennünk, hogy a kromoszférában a különböző anyagok rétegesen terülnek el egymás fölött. Ha ellenben a kromoszféra fényét oly fotoszférafénynek tekintjük, mely főleg rendellenes színszórás útján érkezik hozzánk, akkor a Nap gáznemű anyagát lényegében chemiailag egynemű keveréknek képzelhetjük. Ez a JULIUS-féle felfogás nagy előnyének látszik. Az a tapasztalat, hogy a kromoszféraszínkép különböző vonalai a napperemtől különböző távolságra láthatók, ebben az elméletben annak a következménye, hogy az egyes egymással összekevert anyagok rendellenes színszórása különféle erősségű és abszolút sűrűségük különböző, ennél fogva különbözők a sűrűségváltozások is.

A 162. rajzból láthatjuk, hogy a rendellenes színszórásból keletkezett vonalaknak a napperem felé vastagodniuk kell, a mint ez valóban így is van. A flash-vonalaknak intenzitásbeli  $s$  a kicsiny eltolódásra vonatkozó különböző jellegét is meg lehetne magyarázni a JULIUS-féle föltevés segítségével. Minthogy helyi sűrűségcsökkenések nemcsak belülről kifelé, hanem ellentett irány-

ban is előfordulhatnak, azért a kromoszféra-vonalaknak tulajdonképpen finom kettős vonalaknak kellene lenniök. A flash-spektrum fotográfiáiban elő is fordultak ilyféle megkettőzések s JULIUS ezeket föl is használta elmélete támogatására. Sokkal valószínűbb azonban, hogy a megkettőződés nem eléggé pontos gyújtópontba való beállításból származott.

A foltoknál és protuberanciáknál gyakran észlelt erős vonaltorzulások és eltolódások, melyek DOPPLER-FIZEAU elvével magyarázva igen nagy sebességekre vezetnek, JULIUS elmélete alapján szintén megmagyarázhatók, t. i. akkor, ha csupán a 162. rajzon föltüntetett  $a$  és  $b$ , illetve  $a_1$  és  $b_1$  közti rész válik láthatóvá. A napfoltok közvetetlen közelében gyakran megjelenő görbült vonalak minden erőltetés nélkül ama fény egy részének tekinthetők, mely a napfoltok színeképében a látszólag kiszélesedett elnyelési vonalak helyein hiányzik. Ekkor a spektroszkópban észlelt rendkívül nagy mozgássebességek esznek. Így aztán a protuberanciák fölszállásánál közvetetlenül észlelt óriási sebességeket is csak látszólagosaknak fogjuk tekinteni, éppen úgy, mint magukat a protuberanciákat is csak látszólagos képződményeknek fogjuk tartani. JULIUS szerint ezek a rendellenes színszórás következtében látható részei az örvényeknek vagy »a gáznemű napóczeán habzó hullámainak«. »Ha tehát valamely protuberancia látszólag fölszáll, akkor ez csupán annyit jelent, hogy a hullámozás egymás után különböző helyeken mutatkozik. A peremhez közelebb levő alsó részek az örvényekben meglevő sűrűségkülönbségek kiegyenlítése után ismét láthatatlanná válnak. Magasabb részek, a hol az örvénylő mozgás általában csak később következik be, fölvillannak s minthogy nem egy és ugyanazt az anyagot látjuk a protuberancia egymásrakövetkező szakaiban, hanem mert a rendellenes színszórás következtében a gáztömegnek folyton más és más részei válnak láthatóvá, azért az az óriási sebességgel végbe menő fölfelé szállás a valóságban nincs is meg.«

A JULIUS-féle föltevés elvi magyarázat-lehetőséget enged meg ama néha megfigyelt jelenség számára is, hogy valamely foltnak vagy protuberanciának nem valamennyi vonala mutatja ugyanazt az eltorzulást, még ha ugyanazon elemhez tartoznak is. A magyarázat azon a föltevésen alapszik, hogy a látható vonalak egy része valóban emissziós vonal, más része pedig rendellenes.



színszórás által jön létre. PRINGSHEIM a következő szavakkal fejezi be fejtegetéseit a JULIUS-féle elméletről: Ha tekintetbe vesszük a fénytörést és a színszórást, akkor a Napon észlelt tűnemények legnagyobb részét egyszerűen és egységesen tudjuk megmagyarázni, anélkül, hogy valahol ellenmondásba kerülnénk az ismert fizikai tényekkel. Ebben a tekintetben az új elmélet lényegesen fölülmulja az összes korábbi nézeteket a Napnak és tűneményeinek mivoltáról. De azt még nem tudjuk eldönteni, hogy az új nézet mennyire képes és elégséges a megfigyelések összes részleteinek magyarázatára. Ehhez egyrészt laboratóriumi kísérletek szükségesek, melyekkel a gázok rendellenes színszórását az eddiginél pontosabban és nagyobb számú elemnél lehet meghatározni. Másrészt az elmélet alapelveiből következtetni lehet a várható tűneményekre s ezt a Nap pontosabb megfigyelésével lehet ellenőrizni. Ha azonban szemügyre vesszük, a mit az elmélet eddig teljesített, akkor legalább is nem szabad szerénytelenségnek bélyegeznünk, ha JULIUS az ő alapvető munkáját a következő szavakkal fejezi be: »kétségtől a jövőben semmiféle napelmélet sem hagyhatja számon kívül a fénytörés törvényeit«.

JULIUS-nak most említett nézete föltétlenül helyeselhető s egyáltalán ki kell emelnünk, hogy JULIUS elmélete a Napon végbe menő tűnemények nagyon szellemes magyarázatának tekintendő. Több jelenséget s köztük nem egy ritkábbat meg tud ugyan fejteni, de a legkirívóbb ellenmondásban áll egyik legegyszerűbb és legáltalánosabban ismert ténynyel: a protuberanciák pontosan ugyanabban az alakban és *nagyságban* látszanak úgy a kalcium, mint a hélium és hidrogén vonalaiban. Ennélfogva vagy e három elem vonalainak pontosan ugyanazt a rendellenes színszórást kell tulajdonítanunk, vagy pedig a három elem sűrűségei állanak mindig olyan arányban, hogy egyenlően erős hatásokat adnak eredményül. Mind a két föltevés föltötte valószínűtlen. Azonkívül ezeknél az elemeknél eddig még egyáltalán nem észleltek rendellenes színszórást, ellenben a rendellenes színszórást a legnagyobb mértékben mutató nátrium jelenségeinek nincs is valami különösen feltűnő szerepük a napperemen.

Ezen ellenvetésekkel szemben JULIUS csak arra tudott hivatkozni, hogy a laboratóriumbeli kísérleti viszonyok még közelítőleg sem egyeznek a Napon uralkodó viszonyokkal, hogy ennél-

fogva a rendellenes színszórásnak valamely elemnél a laboratóriumban mutatkozó elenyészően csekély értéke még nem bizonyíték arra, hogy a Napon is ugyanúgy van. Ezzel az aggályos következtetéssel szemben az ellenkezőt is ugyanazzal a joggal állíthatnók: nevezetesen azt, hogy a laboratóriumban a nátrium erős rendellenes színszórása még nem bizonyítja, hogy ezt a Napon is teszi. Ha pedig laboratóriumi eredmények a Napra egyáltalán nem alkalmazhatók, akkor a Nap tűneményeinek összes magyarázatai kétségesek s különösen a rendellenes színszórással való magyarázatok is.

Az eddig elmondottakban megkíséreltük, hogy néhány általános elmélet segítségével képet rajzoljunk a Nap alakjára vonatkozó eszmék fejlődéséről a legrégibb időktől jelen napjainkig. De világos, hogy ezzel tárgyunkat korántsem merítettük ki, mert a Nap fizikájára vonatkozólag sok adat s köztük talán éppen a legbecsesebbek, nem összefüggő elmélet alakjában, hanem a Nap tűneményeire vonatkozó specziális tanulmányok alakjában jelentek meg. Utóbbiak egyrésze teljesen matematikai mezbe van öltöztetve, úgy hogy alig lehet őket általánosan érthető formában ismertetni. Ezért is, meg a helyszűke miatt is nem bocsátkozhatunk kimerítő ismertetésükbe, csupán néhány kiválasztott elmélet ismertetésére szorítkozunk.

### **A Nap forgására és tevékenységének időszakosságára vonatkozó elméletek.**

Régebben a napfoltok és egyáltalán a naptevékenység időszakos voltának okát külső hatásokban keresték, különösen pedig a bolygók ismétlődő együttállásaiban. Ebben a tekintetben bizonyos érdeklődésre tarthat igényt SELLMAYER-nak egyik vizsgálata. A 11 évi periodusban szerinte napfoltmaximum akkor jön létre, ha a Vénus, a Föld és a Jupiter a Nappal közel egy egyenesben áll. ECKHOLM újabban kiszámította az ebből várható periodust és összehasonlította a napfoltok periodusával, a melyet a mostani megfigyelésekből régi kínai följegyzésekkel kapcsolatban vezetett le. A periodusok közepes hosszú-



ságai itt feltűnően jól megegyeznek, bár természetesen az egyes periodusok egymástól tetemesen eltérnek. Hasonló eredmény vezethető le a WOLF-tól talált, igaz hogy sokkal bizonytalanabb  $7\frac{1}{2}$  hónapnál valamivel nagyobb periodusra, mely pontosan egyenlő a Vénus és a Jupiter közepes szinódikus keringésidejével.

ECKHOLM szerint nem lehet véletlen, hogy a napfoltok periodusa oly rendkívül jól egyezik a bolygók együttállásával. De a nehézségerő nem szolgálhat magyarázatul, bár elsősorban erre kellene gondolnunk, a mennyiben árkelto hatással van a Napra. Minthogy a bolygók nagy távolságra vannak a Naptól és minthogy tömegeik aránylag csekélyek, azért az árkelto hatás szinte elenyészően kicsiny; a Napon létrejövő áremelkedés legfőljebb milliméterekre rughat. Ezért ma már csak történelmi érdeke van annak a kísérletnek, mely a naptevékenység időszakos voltát a bolygók gravitációs hatására akarta visszavezetni. Később szó lesz arról az újabb kísérletről, mely másféle külső erővel, pl. elektromossággal, kísérte meg a magyarázatot.

WILSING *elmélete*. Ez az elmélet azon a föltevésen alapszik, hogy a Nap belsejében mag van, melynek halmazállapota közömbös, de a mely a reáható nagy nyomás következtében szilárd test módjára viselkedik, legalább is úgy forog, mint ez, azaz mindenütt azonos szögsebességgel. Ezt a magot, melynek felszíne mélyen a napfoltok szintája alatt keresendő, gáznemű burok veszi körül, melyben nyomás és hőmérséklet belülről kifelé csökken. Bár ez a burkolat a maggal egyező tengely körül forog, mégis az előbb kifejtett okoknál fogva különböző szélességek alatt különböző szögsebességek keletkeznek, a mint ezt a foltok mozgásából felismerhetjük. Ebben a légkörben áramlások mennek végbe. A gázok belső surlódása ezen áramlások ellenében hat, s azonkívül a burok és a mag forgása közti különbség kiegyenlítésére is törekszik. Felette bonyolult hidrodinamikai vizsgálatok segítségével WILSING kimutatja, hogy azok az időközök, melyeken belül a sebességek észrevehető mértékben megváltozhatnak, oly nagyok ahhoz az időhöz képest, a mióta megfigyelések vannak, hogy a Nap forgásállapota oly jelenségnek tekintendő, mely állandó és a Nap jelenlegi fejlődés fokának sajátossága.

WILSING magyarázata DARWIN G. H.-nak a Föld fejlődés-történetére vonatkozó egyik vizsgálatára támaszkodik, mely szerint

forgó folyadék vagy gázgömb belsejében a forgástengelyhez nem teljesen szimmetrikusan végbemenő tömegeltolódások azt idézik elő, hogy a pillanatnyi forgástengely többé nem esik pontosan össze a szimmetria-tengellyel (a forgásellipszoid legkisebb tengelyével). A mozgékony tömeg ugyan arra törekszik, hogy ezt a zavart kiegyenlítse s oly egyensúlyállapotot idézzon elő, melyben a két tengely ismét egybeesik. Csakhogy a belső surlódás a mozgással szemben ellenállást fejt ki, mely a kiegyenlítést hátráltatja s lehetségessé teszi, hogy az egyensúlyzavar bizonyos mértékig megnövekedjék. Valamilyen tömegeltolódás, habár csak lassú is, a Napon mégis csak bizonyosan végbemegy, még pedig a folytonos összehúzódás és sűrűsödés következtében. A tömegeltolódás legelsőben azt fogja maga után vonni, hogy a forgástengelynek eltérése a szimmetria-tengelytől növekszik mindaddig, míg hirtelen kiegyenlítődéssé nem következik be azáltal, hogy a belső surlódás nem fejthet ki többé ellenállást az eredeti állapot visszaállítására irányuló erővel szemben. Ily módon időszakos változások keletkeznek a Nap belsejének állapotában. E folyamatok külső visszahatásai főleg napfoltok és protuberanciák alakjában jelentkeznek. A napfoltok gyakoriság-görbéjére jellemző a minimum utáni gyors növekedés. Valami folytonosságmegszakadás-féle történik, a mi abban nyilvánul meg, hogy a minimum után a legnagyobb foltgyakoriság öve ugrásszerűen nyomul az egyenlítő felé.

A kifejtettekből látható, hogy mellékes körülmények mennyire módosítják a folyamat szabályszerűségét, úgy hogy megegyezést csak nagyszámú periodus középértékéből várhatunk. Tehát ebben a tekintetben is lehetséges jobb simulás a valóságos viszonyokhoz, mint a milyent a bolygómozgások szabályossága megenged. Ha azonkívül a visszahatások főleg azokon a pontokon következnek be, hol a mozgató erők a maximumokat érik el, akkor a legnagyobb hatásokra az egyenlítő közelében kell számítanunk. WILSING a következő szavakkal fejezi be fejtegetéseit: »Az időszakosságnak ez a magyarázata az anyagnak ama tulajdonságain alapszik, melyeket tagadhatlanul korlátozott tapasztalatok alapján, a Nap belsejében létezőknek szabad gondolnunk. De azért meg kell engedni, hogy a fejlődés bizonyos szakáiban ezek a föltett tulajdonságok szükségképpen megvoltak ... «



A WILSING-féle elmélet természetesen nem tudja megmagyarázni, hogy miként keletkezik az egyes napfolt vagy protuberancia. Csak azt tudja megmutatni, hogy bizonyos időben és pontokon nagyobb-, vagy kisebbfokú hajlandóság van a foltkeletkezésre. Magából az elméletből pedig az következik, hogy ez a hajlandóság változó áramlásviszonyok következménye. Mint a napelméletek túlnyomó számánál, úgy itt is, a foltok keletkezése különös légköri áramlásokra vezethető vissza.

WILCZYNSKI *elmélete*. WILCZYNSKI ugyancsak hidrodinamikai vizsgálatok alapján, de a súrlódás elhanyagolásával azt igyekszik kimutatni, hogy valamely gáznemű tömeg felszíne semmiképpen sem foroghat úgy, mint a szilárd testé. Szerinte valamely forgó részecske szögsebessége egyedül a forgástengelytől való távolságtól függ, tehát a forgástengely körül minden képzelhető hengerfelületen a szögsebesség ugyanaz. De nem bogozhatjuk ki azt a törvényt, mely kifejezi az összefüggést az ilyen henger szögsebességváltozása és a tengelytől való távolsága között, mert erre nézve a Nap belsejében uralkodó hőmérséklet- és nyomásváltozások mértékadók. Minthogy a gömbalakú gáztömeg minden szélességének más és más ilyen henger felel meg, a forgássebességnek függnie kell a szélességtől. Teljességgel valószínűtlen külön eset lenne, ha valamennyi hengernek ugyanaz volna a forgássebessége, a mi maga után vonná az egész felszín egyöntetű forgását. Ha ismeretes a felszíni forgás és a hengerek forgásának törvénye, akkor ebből megfordítva levezethetnők a Nap belsejében uralkodó nyomás- és hőmérsékleteloszlás törvényét. WILSING szerint a WILCZYNSKI-féle elméletben elhanyagolt súrlódás és áramlás idők során módosítólag fog hatni. De a WILCZYNSKI levezette forgásállapotot a forgás kezdeti állapotának tekinthetjük, a melyet WILSING adottnak tesz föl.

WILCZYNSKI egy másik vizsgálatában számbaveszi a súrlódást is, de azzal az egyszerűsítő föltétellel, hogy nem gáztömeg, hanem összenyomhatatlan folyadék forgásáról van szó. Ebből levezeti annak a lehetőségét, hogy a szögsebesség az időtől is függ, még pedig periodikusan. Bizonyos föltevésekkel azt is kimutatja, hogy a hőmérsékletnek időszakosan kell változnia.

Abból a célból, hogy a most sorra kerülő EMDEN-féle napelmélet megértését elősegítsük, néhány szóval ki kell terjeszkednünk két, egymás fölött elsikló folyadékréteg között létrejövő hullámok elméletére, a melyet HELMHOLTZ fejtett ki bizonyos felhőalakulatok megmagyarázása céljából.

Két, egymással érintkező, de nyugalomban levő folyadékréteg határfelülete mindig stabilis egyensúlyban van, azaz megzavarás esetében ismét eredeti egyensúlyhelyzetét igyekszik visszaszerezni. A víz felszíne ilyen határréteg a víz és a levegő között (a gázokat itt általánosságban folyadékszámba vesszük). Szélcsendben a tó felszíne teljesen síma és nyugodt. Ha vízbe dobott kő ezt a nyugalmat megzavarja, megvan a törekvés a keltett hullámmozgás megsemmisítésére, úgy hogy bizonyos idő múlva a tó felszíne ismét teljesen síma és nyugodt lesz.

Teljesen másképpen áll a dolog, ha a rétegek egymás fölött elsiklanak. Ilyenkor labilis az egyensúly, azaz a vízfelszín nyugalomban maradhat ugyan, de mihelyt valamilyen okból valami zavar keletkezik, a felszín nem nyugszik meg, hanem a rétegek folyásának (szél) erősségéhez mérten a legkisebb kimozdulástól kezdve bizonyos maximumig hullámozó mozgásba jön. Ilyen nagyon kicsiny zavarok azonban mindig vannak, azért a rétegek folyásánál vagy siklásánál hullámozó mozgásnak minden körülmények között be kell következnie. Ha a siklás sebessége nagy, akkor nem szabályos hullámozás, hanem a két folyadék heves összekeverődése jön létre, t. i. a hullámhegy ilyenkor erősen előrefelé nyomul, míg a hullámvölgyet érő nyomás csekély, vagy semmi. Ennek következtében a hullám feje elől mindinkább meredekebb lesz s végül előre átszap és összeomlik. A víz és levegő összekeverődésének eredménye a hab, a melyet vihar alkalmával a hullám taraján láthatunk. Ha a víz sekély, például a part közelében, akkor a hullámok szétroncsolását és ezzel a víz és levegő összekeverődését más ok idezi elő; itt t. i. a hullám alsó része surlódik a fenékhez, ennek következtében az alsó rész hátramarad, a felső előre siet s az eredmény ugyanaz, mint erős szélnél.

Teljesen hasonló folyamat megy végbe két gázzréteg közös határfelületén is, csak hogy ezt a jelenséget rendesen nem tudjuk látni. De azért valamilyen nagy és fontos különbség mégis van. Az összeomló hullámok keveredésterméke, a hab, csak nagyon



rövid életű, még pedig azért, mert nagyok a fajsúlybeli különbségek és mert a szabad vízhártyák szívóssága csekély. Ha a tenger szappanos vízből állana, melynek hártyái rendkívül szívósak, akkor a hab minden vihar alkalmával háznagyságú gombolyaggá verődne össze. Csak kis fajsúlybeli különbségű gázrétegeknél nincs meg a törekvés, hogy ismét elkülönüljenek, sőt a hullámmozgás eredményeképpen végül a két réteg teljesen összekeveredik.

A hullámok méreteiben is vannak különbségek. Egyenlő szélerősség mellett ezek a különbségek a víznél sokkal kisebbek, mint külön a levegőrétegeknél. Tegyük fel, hogy van két levegőréteg, melyek közül a felső  $10^0$ -kal melegebb, mint az alsó. (Az ellenkező elhelyezkedés nem lehetséges, mert különben közvetlen összekeveredés jönne létre a felső hidegebb és ennél fogva nagyobb fajsúlyú levegőréteg lefelé való sülyedése következtében.) Mérsékelt szélesebség mellett 1 méter hosszú hullámokat észlelünk a tengeren. Ugyanez a sebesség az előbb feltételezett két levegőrétegnél már 2—5 km hosszú hullámokat eredményezne. A nem ritka, nagyobb, 5—10 m hosszú tengerhullámoknak 15—30 km hosszú hullámok felelnének meg a két levegőrétegben. Mind a két esetben a hullámok alakja mindig hasonló, ennél fogva a levegőhullámok magassági méretei szintén igen tetemesek.

A levegőhullámok rendesen nem láthatók. De HELMHOLTZ felhívta a figyelmet arra, hogy igen gyakran láthatóvá válnak, akkor t. i., ha az alsó réteg párával közel telítve van. Minden ok, mely a nyomást csökkenti, szükségképpen a vízpára hirtelen lecsapódását váltja ki köd vagy felhő alakjában. Ilyféle jelenséget észlelhetünk pl. sörös palaczk kinyitásánál, melynek nyakában közvetlenül a kinyitás után, tehát a nyomás csökkenése után, valami köd válik igen jól láthatóvá. A hullámhegyekben mindig nyomáscsökkenés áll be, ennél fogva a vízpárának itt kell lecsapódnia s így keletkeznek ekkor a különböző szélességű párhuzamos sávokra osztott felhővonulatok, melyek szabályosan ismétlődve, némelykor nagy területeket foglalnak el az égen. Ezek az ú. n. czirrusz-felhők, melyek nálunk majdnem mindig nyugatról vagy délnyugatról jöve, óriási magasságban sietnek tova. A czirrusz-sávok nem mindig símak és egyenletesek, hanem gyakran szabályos közökben meg vannak szakítva. Néha két sáv-

rendszer lehet világosan megkülönböztetni, melyek egymáshoz derékszög alatt hajlanak. Ezek az ismeretes báránylehők. Ennek a jelenségnek a magyarázata sem nehéz. Nem kell egyéb, mint hogy két különböző irányból induljon meg a hullámmozgás, ekkor egymáshoz ferde, vagy egymásra merőleges hullámsorok keletkeznek, melyek egymással interferálva, báránylehőket rajzolnak az égre.

A csirrusz-felhők alakjában csupán a kisebbszerű légköri hullámok válnak láthatóvá, melyeknek hossza alig haladja meg a 200 métert. A közepes nagyságú hullámok csak ritkán ismerhetők fel, a minnek oka részben talán az, hogy ilyenkor csak kevés felhővonulatot tekinthetünk át egyszerre. De ezenkívül kétségtelenül az is megnehezíti a láthatóságot, hogy nagyobb hullámok hullámhegyében nem csupán köd alakjában csapódik le a vízpára, hanem hogy a lecsapódás második foka, az eső kiválása is bekövetkezik s a jelenség ezáltal elmosódik. Az igen nagy, 15–30 km hosszú hullámok ismét gyakrabban és jobban megfigyelhetők. A hullámalak ezeknél ugyan már nem ismerhető fel többé, mert közepes felhőmagasságban hosszúságuknál fogva majdnem az ég egész látható részét eltakarják. Ezek idézik elő azt az állapotot, melyet szélrohamokkal járó pásztás időnek nevezünk, mikor ragyogó napsütéses tiszta ég oly különös szabályossággal váltakozik fenyegető, heves viharoktól kísért, kísérteties gyorsasággal tovarohanó felhőgomolyagokkal, melyekből eső és jég zuhan le vakító villámoktól kísérve. Ilyen széles-pásztás időben hullámtöréssel van dolgunk. A sok kilométer hosszú felhők magassága is természetesen több ezer méter. De ilyféle hullámokhoz mérten légkörünk sekély, mint a tenger a part közelében. Mint a tengerben, úgy itt is a hullám alsó része surlódás következtében a talajon visszamarad, a felsőrész előre siet és előre dől. A tulajdonképpeni pásztát a hullámhegy alkotja, mely telve van lecsapódott vízpárával s ez maga meg esővé sűrűsödik össze. A hullámvölgyet az egyes széllesek közti nyugalmas szünetek alkotják. Bennük a levegő nagyobb nyomás alatt van, ennél fogva nincsen benne lecsapódás, nincsen felhő.

Az EMDEN-féle napelmélet megértéséhez elég lett volna a levegőhullámok elméletében csupán a két réteg összekeveredésének magyarázatáig mennünk. De későbbi alkalommal még egy-



szer rá kell térnünk a HELMHOLTZ-féle elméletre s ekkor a felhők keletkezésének ügye is felvetődik.

EMDEN *elmélete*. EMDEN a Napot hőt kisugárzó, forgó gömbnek tekinti, mely egészben, vagy tetemes mélységig cseppfolyós, vagy gáznemű. A Nap hőkisugárzás következtében összesűrűsödik, miközben fel- és leszálló áramok keletkeznek, melyeknek összekeveredése a hőveszteséget többé-kevésbbé egyenletessé teszi. Ha a Napnak valami szilárd magja lenne, ezáltal semmi sem változnék az előbbiekben; a rétegeképződés egyszerűen csak a szilárd mag felszínéig terjedne. A gázgömbről föltesszük, hogy kezdetben adiabatikus egyensúlyban van, azaz a sűrűség, nyomás és hőmérséklet az egész tömegben akként változik, hogy valamely részecske a Nap belsejében hőcsere ellen védett tetszészerinti eltolódásnál sűrűsége, nyomásra és hőmérsékletre nézve mindig megegyezik a helyéből éppen kiszorított részecskével. Forgó gömbben a fel- és leszálló áramok keveredése következtében ennek az állapotnak mindig be kell következnie. (V. ö. OPPOLZER elméletét a 497. lapon.)

A Nap felszínén levő tömegek hőt sugároznak ki, ennél fogva sűrűségük növekszik s ekkor lefelé kell süllyedniök. Ha a Nap nem forogna, akkor a fölvett egyensúlyállapot mellett ezek a tömegek egészen a Nap középpontjáig szállnának alá, ott ugyanolyan mennyiségű anyagot kiszorítának s ez meg a felszínen szabaddá lett helyet foglalná el. A Nap forgása azonban teljesen megváltoztatja az áramlásnak ezt a menetét.

Bizonyos föltételek mellett azok a felületek, a melyeken ugyanaz a nyomás uralkodik, forgásfelületek lesznek. A lehűlés következtében megsűrűsödött, befelé süllyedő tömegeknek meg kell tartaniok forgássebességüket. A Nap tengelye felé közeledve a környezethez képest mindig gyorsabban sietnek előre s a szögsebesség növekedtével a lefelé szállásnak csökkennie kell. A fölfelé szálló tömegek, kisebb sebességüket megtartva, mindjobban hátrafelé sietnek, miközben a fölhajtó erő csökken. Ilyenformán különböző sűrűségű, különböző sebességgel forgó gáz-tömegeket kapunk, melyek határfelületük mentén egymás fölött elcsúszhatnak. E felületek alakjáról előre csak annyit tudhatunk, hogy forgásfelületek vagy azoknak részei. HELMHOLTZ elmélete értelmében e határfelületeken hullámzó mozgás megy végbe.

A hullámsorok mindig hatalmasabbá fognak fejlődni, rohanás közben fejük előre fog hajolni s minden hullám helyén a hullámtörés következtében hatalmas örvény keletkezik, a melyben azután a különböző sebességek és hőmennyiségek kiegyenlítődnék. A *forgó* Napnak egyenletes lehűlésfolyamata csak ilyen módon következhetik be, mert a forgássebességek különbözősége megakadályozza azt, hogy sugármenti irányban tetemesebb konvekciós áramok létesüljenek.

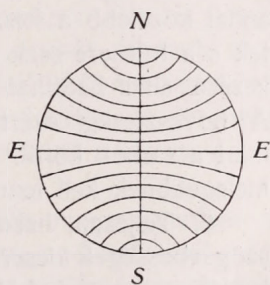
A probléma matematikai tárgyalása alapján EMDEN több tételt vezetett le:

1. Bizonyos egyszerűsítő föltevések mellett az egyenlő hő-tartalom mellett különböző forgássebességgel mozgó rétegek határfelületei körhengerek, melyeknek tengelye egybeesik a Nap forgástengelyével. Ez megegyezik WILCZYNSKI eredményével.

2. Ha ezeket az egyszerűsítéseket nem tekintjük, a határfelület egyensúlya akkor stabilis, ha a hőben dúsabb réteg a Nap sarka felé magasabban fekszik.

3. A rétegek közti határfelületek, melyek a forgó Napban hőkisugárzás következtében keletkeznek, olyan alakúak és akként vannak elhelyezve, hogy rajtuk az egyenlítő síkjától kifelé haladva, a Nap tengelyétől távolodunk. A hőben dúsabb, kisebb forgássebességű réteg a Nap tengelye felé fordított oldalon fekszik. Azonkívül a határfelületek nem zárt felületek, hanem a Nap felszínét metsző forgásfelületek. Hozzávetőleges alakjukat a 164. rajz mutatja.

Bizonyosan ki van zárva, hogy a Nap vagy annak gáznemű része teljesen szétessék kisebb vagy nagyszámú ilyen egyenmű rétegre. A valóságban bekövetkező viszonyokat úgy kell képzelnünk, hogy a forgó Napnak kívülről történő lehűlése alkalmával e határfelületeknek csak többé vagy kevésbé kiterjedt darabjai fognak kialakulni. Minthogy a határfelület két oldalán a sebességek különbözők, azért a hullámmozgás mindinkább erősödik, míg a hullámok végül előrehajolnak, megtörnek és hatalmas örvényekké változnak át, melyekben a két réteg tömegének



164. rajz.

*NS* forgástengely;  
*EE* egyenlítő.



nagyrésze összekeveredik. Közben más pontokon újonnan keletkezett rétegeknek újabb határfelületei alakulnak ki, a melyekben ugyanez a keveredési folyamat ismétlődik.

4. Ha valamely határfelület a napfelszint (a fotoszférát) metszi, akkor az ott levő részek különböző szögsebességgel síklanak el egymás mellett.

5. Ha a Nap *nem forogna* s úgy hűlne le kívülről befelé, akkor a lehűlés hatása az egész felszínen egyforma lenne, mert a konvekciós áramok okozta keveredés egyenlő mélységekig ér. Ellenben, ha a Nap *forog*, akkor a sarkokon a tengely mentén haladó áramok semminemű zavart nem szenvednek. De mennél közelebb jövünk az egyenlítőhöz, annál kevésbbé mélyre érhet az áramlás, annál közelebb a felszínhez állanak útjába az alakuló határfelületek s a hőcsere csak e felületek kigöngyölödése és újaknak keletkezése által hatolhat mélyebbre, de hasonlíthatatlanul lassabban. A hőveszteség ezért az egyenlítő tájékán lassabban pótlódik, mint a sarkok körül. Ennélfogva a Nap felszínének a sarkokon melegebbnek kell lennie, mint az egyenlítőn.

6. Teljesen hasonlóan ítéltető meg a sarki és egyenlítői szögsebességek kicserélődése. A Nap külső részei a lehűlés következtében összehúzódnak, szögsebességük nagyobbodik, a burok megelőzi a magot. A sarkok tájékán zavartalanul a legmélyebbre nyúló konvekciós áramok a szögsebességek kigyenlítődését idézik elő. Mennél jobban közeledünk az egyenlítőhöz, annál hamarabb akadályozzák a határfelületek az áramlást s annál lassabban közlódik a mélyebb rétegekkel a kívülről növekvő szögsebesség. Az egyenlítő tájékán ezért a Nap felszíni sebességének nagyobb-nak kell lennie, mint a sarkokon.

A napfoltok magyarázata EMDEN szerint már most a következő: a hullámtörés következtében keletkező örvények szívó hatást gyakorolnak, mint minden örvény. Ha ezek az örvények nincsenek túlságosan messze a fotoszférától, akkor ez végül belekerül a szívóhatás területébe. Ilyen helyeken a fotoszféra lefelé húzatik. Mélyedések keletkeznek, melyek nekünk napfoltokként tűnnek föl. Ezután nagyon szabálytalan kráter alakul ki. Az áramlás lassanként állandósul s ezzel együtt a kráter keresztmetszete is szabálytalanabb lesz. A fotoszféra anyaga sugármenti irányban zuhan az örvénybe. A színek elnyelési vonalainak alakja

elárulja ezt a belső heves mozgást. A beszívott tömegek helyébe más tömegeknek kell lépniök, ezért a napfoltot fáklyákban és protuberanciákban gazdag terület veszi körül.

Ha az örvény közel a Nap felszínéhez keletkezik, akkor forgása (olyan értelemben számítva ezt, mint a Nap forgását) a foltnak egyező irányú forgásában fog megnyilvánulni, a mint ezt már többször megfigyelték.

A foltoknak eloszlását a Nap felszínén is megmagyarázza ez az elmélet. A réteg keletkezésmódjából és a 164. rajzból következik, hogy az egyenlítő körül található a legkisebb foltkeletkezés öve. Csak nagyon ritka esetben keletkezhetik folt ezen a tájékon valamely szimmetriátlanul alakult határfelület szimmetriátlan legöngyölödése által. Nagyobb szélességek alatt is csak ritkán keletkeznek határfelületek s akkor is csupán olyanok, melyeknél csak nagy szélességben jön létre kétoldalt a sebességek közti eléggé nagy különbség s ezáltal a hullám- és örvénylő mozgás. A legnagyobb foltgyakoriság helye tehát a közepes szélességek alatt van.

Az EMDEN-féle elmélet ugyan nem tudja megmagyarázni a folt-tünetény időszakosságát, de a már meglevő foltokból meg tudja magyarázni, hogy napfolt-minimum után miért jelennek meg a foltok magasabb szélesség alatt. Nagyfokú nyugalom időszakában a Nap felszínén levő tömegek aránylag erősen lehűlhetnek, mielőtt lefelé süllyednének. A határfelületek és éppen úgy a napfoltok is nagyobb mélységben és magasabb szélesség alatt kezdenek keletkezni. Abban a mértékben, a mint a Nap nyugtalanabbá válik, a lehülő tömegek labilis egyensúlya a felszínen hamarabb megbillen. A tömegek korábban és kevésbé lehűlve süllyednek lefelé, a minék megfelelően a rétegek és foltok mindinkább alacsonyabb szélességek alatt keletkeznek.

Ha a foltok a Nap belsejében működő örvények szívó hatásából erednek, akkor fölöttük a fotoszférát beburkoló gázok leszálló áramlásának kell létesülnie. Ilyen áramlást vett alapul OPPOLZER is az ő foltelméletében s így az OPPOLZER-féle elmélet számos előnye az EMDEN-félében is érvényesül.

EKHOLM *elmélete*. Az EKHOLM-féle elmélet eszmemenete kezdetben nagyon hasonlít az EMDEN-féléhez. A fő kiindulópont itt is a lehülés következtében keletkező leszálló áramok, melyek a



sarkoknál mélyebbre süllyednek, mint az egyenlítőn. A foltok közvetlen okaként itt is az örvények szerepelnek, melyek főleg a közepes szélességek alatt jelennek meg. A két elmélet közti lényeges különbség, hogy EKHOLM szerint ezek az örvények közvetlenül az ellenkező irányú áramok találkozásából keletkeznek a HEMHOLTZ-féle elméletből ismeretes hullámok közbenjövete nélkül. »Természetes, hogy ezek a különböző örvények egymást folyton zavarják és ebből származik a fotoszféra szemcsés külseje. A fotoszférának erősen fényes pontjai valószínűleg a fölfelé szálló áramok felső csúcsai, melyek kisugárzás folytán még le nem hűltek, a köztük levő sötétebb közeget a már lehűlt és süllyedőben levő tömegek alkotják«. Eddig EKHOLM elmélete meglehetősen pontosan egyezik a FAYE-félével, a mint ezt maga EKHOLM is említi.

Ha a Nap rétegei egészen hígán folyósak lennének, akkor a naptevékenység időszakosságát nem érthetnők meg. Mert bizonyára több millió éven át marad állandó a világter hőmérséklete, a melybe a kisugárzás történik. Ha ezenkívül a Nap belsejéből jövő hővezetés is állandó, a mint ennek tökéletes folyadékoknál kell is lennie, akkor a nagy időszakos ingadozások számára nem találhatnánk semmilyen lehetséges okot.

De a most általánosan elfogadott HELMHOLTZ-féle összehúzódsá elmélet szerint (melyről alább lesz szó) a Nap térfogata hajdan sokkal nagyobb volt, mint most, ennél fogva a Napot alkotó gáz is kevésbé sűrű volt, mint most. Ezen elmélet szerint a Nap hőmérséklete is sokkal alacsonyabb volt akkor, mint most. Ebből azonban nagy valószínűséggel arra következtethetünk, hogy a naptevékenység időszakos ingadozása a Nap korával együtt növekszik.

A legrégebbi időkben a Napot alkotó gázok oly nagy mértékben mozgékonyak voltak, hogy az adiabatikus egyensúlyállapottól a kisugárzás által előidézett összes eltérések majdnem pillanatnyilag egyenlítették ki szabályos függélyes áramokkal. Így azután nem is volt semmiféle ok a Nap felszíni hőmérsékletének olyanféle szabálytalan vagy időszakos ingadozásaira, a milyenekről a foltok és fáklyák tanúskodnak. De mennél inkább összehúzódsott a Nap, annál nagyobb lett a belső surlódás ellenállása a felszíni áramlással szemben. Ennek következtében a hőmérséklet- és nyomásbeli különbségeknek helyenként és időnként mindinkább növekedniök

kellett s el kellett térniök az adiabatikus egyensúlyállapottól, mielőtt az egyensúlyt ismét helyreállító áramok működése megkezdődött volna. De mihelyt a feszültségek bizonyos határon túlmentek, a felszíni rétegeknek viharos áthelyezkedése vette kezdetét, mely addig tartott, míg az egyensúly ismét helyreállott. Ekkor viszonylagos nyugalom időszaka következett, mígnem új zavar kezdődött s. i. t. Az EKHOLM-féle elmélet itt a WILSING-félének az alapján áll. EKHOLM további fejtegetései nagy visszaesést jelentenek. Ő t. i. azt teszi föl, hogy a fotoszféra már oly sűrű gázokból áll, hogy szívós kéregnek tekinthető. »Talán túlzás nélkül föltehető, hogy néhány ezer km-nyi mélységben a fotoszféra szívóssága ugyanakkora, mint a fehéren izzó kovácsolt vasé«. EKHOLM figyelmét elkerülte, hogy ez ellenmondásban van a Nap csekély sűrűségével, bár nézetéhez az időszakosság okáról egyáltalán nem szükséges föltenni a nagy sűrűséget. EKHOLM ezután a bolygók hatására vezeti vissza az időszakosságot, melynek oka tulajdonképpen a Nap belsejében rejlik.

A Napot valamely rendkívül ritkás, a napfényt visszaverni képes anyagnak óriási burka veszi körül (korona). Ez a burok éppen úgy, mint a bolygók, erős elektromos töltésű. Ebből kiviláglik annak lehetősége, hogy a bolygók együttállásai kissé megváltoztathatják a Nap kisugárzását, mert elektromos távolhatásuk által ez a burok egyenlőtlenül oszlik meg a Nap körül. De akkor a kisugárzás és a fotoszférának ezáltal okozott lehűlése is egyenlőtlen lesz. Ennek következtében a fotoszféra felső rétegének néhány pontjában a sűrűség jobban fog növekedni, mint egyebütt, a mi a labilis egyensúly megzavarását elősegíti. A napfelszín ezen sűrűbb részei lesznek azután valószínűleg a tevékenységnek ama területei, a hol főleg fáklyák és foltok keletkeznek. Ily módon talán fizikailag megmagyarázható a bolygó-együttállásoknak valamilyen hatása a Nap tevékenységére. De a dolog természetében rejlik, hogy ez a hatás nem lesz sem nagyon szabályos, sem nagyon kifejezett. Az a látszólag túlnagy hatás, melyet a SELLMEIER-féle konstelláció gyakorol (509. lap), talán abból magyarázható, hogy a Nap fizikai alkatától függő foltperiodus véletlenül majdnem éppen olyan hosszú, mint ezen konstelláció periodusa.

De önkéntelenül fölvetődik az a kérdés, hogy egyáltalában



minek szükséges még a bolygók hatásának EKHOLM-féle föltevése, ha véletlenül már amúgy is van tisztán belső okokból származó periodus.

### Elméletek a fotoszféra fölött végbemenő folyamatokról.

Olyan vizsgálatokról van itt szó, melyek a Nap tulajdonképpen légkörére vonatkoznak, tehát azokra a rétegekre, melyek közvetlenül a fotoszféra fölött terülnek el és csak a Nap peremén vehetők észre. Tágabb értelemben a koronát is belefoglaljuk a légkör fogalmába.

JEWELL *nézetei*. Azokról az eredményekről szólva, melyekhez teljes napfogyatkozások alkalmával spektroszkópikus úton jutottak s melyek a későbbi napfogyatkozások megfigyelésére vonatkozó javaslatokra vezettek, JEWELL a következőképpen fejt ki nézeteit: a flash-színképben látható vonalak különböző magasságban levő anyagoktól származnak; e vonalak közül az erősebbeknek nagyobb száma egy 1600 km-nél kisebb vastagságú rétegben keletkezik. A legtöbb vonal azonban 800 km-nél kisebb magasságból származik. Ebből azonban nem következik, hogy ezen réteg alsó határa a Nap felszínén, a fotoszférán nyugszik, mert minden valószínűség szerint annak a rétegnek, mely a napfogyatkozáskor megjelenő fényes vonalakat előidézi, vagyis a kromoszférának az alsó határa legalább 300, vagy 400, sőt talán 800 km-nyire van a felszín fölött. Ez a magyarázata annak, hogy a flash-spektrum-ból hiányzanak a gyöngébb fémvonalak s hogy a  $H$  és  $K$  vonalak elmosódottságának semmi nyoma sincsen. Az utóbbi vonalak kétségkívül olyan kalciumgőztől erednek, mely közelebb van a Nap felszínéhez, mint azok az anyagok, a melyektől a flash-vonalak származnak.

A folytonos színkép tetemes része a kromoszféra mélyebb rétegeiből ered s csak a kisebbik rész származik 1600 km-es, vagy még nagyobb magasságból.

A protuberanciák is számbavehető folytonos színképet szolgáltatnak. Ez összefüggésben van a napfelszín közvetlenül látszó külsejével. T. i. gondos távcsövi megfigyelés mellett a Nap felszínén szabálytalan, fényes sávok ismerhetők föl, melyeknek legfényesebb és legmagasabb részei a fáklyák. E sávok között gyöngé, határo-

zatlan körvonalú helyeket találunk, melyek kis gyöngé foltoknak látszanak. A szalagok minden valószínűség szerint a Nap felszínén szakadatlanul végbemenő kitörések legmagasabb részei. Ha ezek a kitörések terjedelmesebbek és hevesebbek, vagy pedig bizonyos magasságot elérnek, akkor fáklyáknak és protuberanciáknak nevezzük. A kitörések legtetejének nagyobb fényessége valószínűleg a kromoszféra csekélyebb elnyelésétől származik. Az elnyelő réteg a kromoszférában bizonyára mindenütt megvan és finoman eloszolva kétségtelenül a koronában is elterjed; valószínű, hogy a réteg a kitörések és a kívülről jövő meteorikus tömegek végterméke. A hol a fotoszféra zsákjaiban vagy mélyedéseiben megülekszik, ott keletkeznek az előbb említett sötét helyek. Ezek a helyek a főkiindulópontjai a napszínkép  $H$  és  $K$  vonalánál mutatkozó elmosódottságnak és más elmosódott vonalaknak. A napkorongnak sötétedése a perem felé pedig azt mutatja, hogy ez az anyag a Napot, mint valami páraszerű burok veszi körül, melyből a fáklyák messze kimagaslanak, míg a fényesebb sávok alantabb maradnak. Ezért a fáklyák a napfelszín legfényesebb pontjai. Úgy látszik, hogy az elnyelés a színképben mindenütt megvan, de különös erővel az ibolyántúli részben, a miből az következik, hogy az elnyelést igen finom porszemecskék okozzák, úgy hogy tulajdonképpen nem fényelnyeléssel, hanem visszaverődés okozta fényvesztéssel van dolgunk.

A napfelszín valószínűleg közvetlenül az említett mélyedések alatt van legalább néhány száz kilométernyire a fotoszféra sávjainak felső határa alatt. A látszólagos napperem létesítéséhez ezen sávoknak csupán felső része járul; a mélyedések itt sohasem láthatók, ennél fogva a napperem színképében nem szerepel a kromoszféra legalsó részeinek színképe, legfőljebb csekély mértékben visszaverődés következtében.

A flash-vonalak külsejéről, melyek a napperem el nem takart ívének közvetlen képe, igen jól fölismerhető a megfelelő anyag eloszlásának jellege. Ha az ív (flash-vonal) a folytonos színkép sávjainak környezetére szorítkozik, akkor a vonalat előidéző anyag olyan állapotban van, hogy a vonalak csak mélyen a kromoszférában keletkezhetnek, azaz csak ezekben a legalsó részekben elég magas a hőmérséklet, vagy van elegendő mennyiségű anyag arra, hogy látható vonal keletkezhesen. Ha az ív (flash-vonal)



a folytonos színekép fölött jóval erősebb és azontúl gyöngül, akkor az elem rendesen van eloszolva, a mint az a nehézségerő hatása alatt elvárható. A legtöbb vonal erre az állapotra vall, több vagy kevesebb helyi szabálytalansággal. Ha a folytonos színekép fölött a flash-vonal gyöngé, vagy teljesen hiányzik, akkor az elem eloszlása rendellenes, azaz vagy nagyobb magasságban nagy mennyiségben van jelen, vagy a mi valószínűbb, a kromoszféra alsó részeiben nincsenek meg a kedvező körülmények az említett vonalak létrejöveteléhez. Ezt okozhatja magasabb hőmérséklet, erősebb nyomás, vagy idegen elem jelenléte.

Az is lehetséges, hogy némely vonalak egyszerűen meteorok súrlódásától származnak. Ezek aztán az kromoszféra nagyobb magasságában jelentkeznek a legerősebben, mert a lezuhanó meteorok ott ütköznek össze a leghevesebben a kitörő eruptív tömegekkel.

Ismeretlen eredetű rendellenes vonalakkal, vagy fémek szikravonalaival többször találkozunk. Az utóbbiak között a legfigyelemreméltóbb a  $\lambda$  4481 hullámhossznál levő *Mg* vonal, mely csak gyöngén jelentkezik. A hidrogénvonalak a kromoszféra felső részeiben aránylag erősebbek, mint a milyeneknek a rendes eloszlás esetében lenniök kellene. Hasonlóan viselkedik a *H* és a *K* vonal. A *H* és a *K* vonalak középső összetevője valószínűleg olyan kalciumtól ered, mely nemcsak nagy magasságban van, hanem azonkívül csekély nyomás alatt is áll és meglehetősen sebességgel süllyed lefelé. Az az anyag, mely a *D* vonalaknak (a vas- és magnéziumvonalaknak) középső összetevőjét idézi elő, néhány km-nyi sebességgel esik lefelé s  $1\frac{1}{4}$  légköri nyomás alatt áll. Ellenben a vas, nátrium és más elemek gyöngé vonalai fölfelé irányuló, másodpercenként néhány kilométernyi sebességű mozgásról tanúskodnak, 2 vagy 3 légköri nyomás mellett. A kiszélesedett vonalak elmosódottsága, különösen a *H* és *K*-nál, kissé nagyobb nyomás alatt álló gázokból származik fölfelé irányított sebesség mellett közel a Nap felszínéhez.

Ebből az következne, hogy a gyöngébb napvonalak különösen bizonyos vonalak elmosódottsága oly elemektől ered, melyek a kitörés állapotában vannak, hogy a kromoszféraszínekép mélyebb fekvésű vonalai hasonlóképpen olyan anyagoktól erednek, melyek nagyobb magasságot értek el, de még oly körülmények között

vannak, melyek között színekp vonalakat létesíthetnek. A kromoszféra legmagasabb rétegének vonalait meteoros tömegek idézik elő és a legfényesebb vonalak, különösen a szikravonalak, meteoros tömegeknek eruptív áramokkal való összeütközése és súrlódása következtében jönnek létre.

Az, hogy az elmosódásra hajlandó vonalak közepes és nagy magasságban erősebben jelentkeznek, az elmosódottság minden nyoma nélkül, valószínűleg annak a nagy könnyűségnek köszönhető, a melylyel ezek a vonalak a szikra- és az ívfényszínekben egyaránt előállíthatók, még akkor is, ha az illető elem csak csekély mennyiségben van jelen.

Ezeknél a meggondolásoknál nagyon fontos szerepe van annak a majdnem teljesen szem elől tévesztett körülménynek, hogy az említett körülményeket előidéző anyagnak mennyisége felette csekély. Ha azt az anyagot, mely a legtöbb napvonalat előidézi, 1 cm-nyi vastag réteggé sűrűsítőnk, sűrűsége nem lenne nagyobb, mint az elektromos ívben tisztátlanságképpen megjelenő fémgőzőké. Ha ezt tekintetbe vesszük, akkor lehetetlen elgondolni azt, hogy a kromoszféra oly elemek gőzeiből álló légkör, aminők a vas, kalcium és titán. A Nap légköre valószínűleg csak hidrogénből és héliumból s néhány más permanens gázból áll, melyeknek sűrűsége a felszínen talán tetemes, de fölfelé gyorsan apad, úgy hogy néhány száz kilométernyi magasságban nem sűrűbb, mint a földi légkör a tenger színén. Ebben a légkörben egyéb elemek nincsenek jelen állandóan, hanem csak időről-időre, a mennyiben kitörésektől és meteoroktól származnak. Ezen elemek kis része súrlódás vagy magasabb hőmérséklet következtében gáznemű állapotban van, s ez idézi elő a napperemen az emissziós és a FRAUNHOFER-féle vonalakat.

A korona legnagyobbbrészt porszerű vagy meteorikus anyagokból áll. Belső részeiben vannak azonban fényes vonalakat kibocsátó gázok is. Ezen gázok némelyike nagy távolságra terjed s meglehetősen szimmetrikusan oszlik el a Nap körül, mások meg főleg a foltöveknek megfelelő szélességekre szorítkoznak. Más koronavonalak nem terjednek nagy távolságra s a szikravonalakhoz hasonlóan viselkednek. A zöld koronavonal hasonlóan viselkedik, mint a szélső ibolyántúli részben levő erős koronavonal.

JEWELL nézeteinek jelentősége főleg azon fordul meg, hogy



hangsúlyozzák az elemeknek rendkívül ritkult állapotát a Nap légkörében s ebben a tekintetben nézetünk szerint nem mennek túl messze.

A korona kettős természetével már régóta tisztában voltak.

YOUNG már 1871-ben határozottan kimondta, hogy a korona áll egyrészt egy vagy több, izzó, fényes vonalakat kibocsátó gázból, másrészt meg szilárd részecskékből, melyek részben saját fényben világítanak (meteorikus részecskék, melyek a gázokkal való súrlódás következtében váltak izzóvá), részben pedig a napfényt verik vissza.

A koronagázok ritkultságáról szóló újabb nézetek alapján ma már alig gondolhatunk a szilárd részecskéknél a súrlódás okozta izzására. SCHEINER hajlandóbb azt hinni, hogy ez az izzás a Nap közvetlen hősugárzásával teljesen megmagyarázható. Ugyanis a koronát alkotó részecskék hőmérséklete számára két esetben lehet közelítő értékeket találni. 1. A testecskéknél oly kicsinyeknek kell lenniök, hogy a hőmérséklet hamar állandósul s a külső és a belső hőmérséklet nem tér el észrevehetően egymástól. Ez a föltétel meteorikus részecskéknél igen közel beteljesedik. 2. A testecskéket abszolút feketéknek kell tekinteni. A legújabb vizsgálatok szerint a Nap kisugározta hőmennyiség a Föld távolságában 2—3 grammkalória négyzetcentiméterenként. Oly felületelemen, melyről a Nap félátmérője  $45^{\circ}$ -nyi szög alatt látszik, — mely tehát a Nap felszínétől sugarának felénél csak kevéssel távolabbra van s e szerint körülbelül a korona határára esik, mikor ez közepes kiterjedésű, — a sugárzás 23 083-szor akkora s kerek számban 53 000 grammkalória. A STEFAN-féle törvény szerint a besugárzott fekete felszín hőmérséklete a korona határán mintegy  $5100^{\circ}$ . Megfelelően kicsiny fekete gömb számára  $3600^{\circ}$ -os hőmérsékletet találunk. Nem fekete test természetesen kevésbé melegszik fel s nem számítható ki pontosan, hogy mekkora a különbség. A Föld hőmérsékletével való összehasonlítás segítségével mindazonáltal lehet valami közelítő értéket meghatározni. A kicsiny fekete gömb abszolút hőmérséklete a Nap-Föld távolságban  $338^{\circ}$ -on állandósulna. De a Föld állandó közepes abszolút hőmérséklete  $288^{\circ}$  ( $15^{\circ}\text{C}$ ). Emellett tekintetbe veendő, hogy ZENKER vizsgálatai szerint a földfelszín állandó hőmérséklete a *Nap sugárzása nélkül*  $200^{\circ}$ -ot (azaz —  $73^{\circ}\text{C}$ ) tenne ki. A Föld belsejében ekkor állana elő egyensúly kisugárzás és hő-

vezetés között, úgy hogy a napsugárzás hatása a Földnél csak  $88^{\circ}$ -ot tesz ki. Ha eszerint akarnók kiszámítani az állandó hőmérsékletet a korona határán, mintegy  $1400^{\circ}$ -ot találnánk. Ezt az értéket a hőmérséklet alsó határának tekinthetjük. Ebből mindenestre az következik, hogy szilárd testcskéék napsugárzással még a korona távolabbi részeiben is oly hőmérsékletre emelkedhetnek, mely az izzás hőmérsékletét messze fölülmulja. A koronagázokkal való súrlódás föltevése tehát teljesen fölösleges. S az is nagyon kérdéses, vajjon egyáltalán szükséges-e meteoros anyagoknak tekinteni a korona szilárd és cseppfolyós részecskéit, a mint azt többen vélik. Mert hiszen nem jogos a Földet érő meteorok számából közvetlenül a Napra zuhanó meteorok számosságára következtetnünk. Ez szükségszerűen azt a föltevést követelné, hogy a világtérben éppen oly sűrűen van meteoros anyag, mint a mi naprendszerünkben, a mi kétségkívül teljesen helytelen. A világtérben elszórt, a Nap vonzáskörébe került kicsiny testcskééknek csupán elenyészően csekély része zuhan valóban a Napra. Túlnyomó részüket a Nap arra kényszerítette, hogy körülötte zárt pályákban keringjenek, ennek következtében időtlen idők folyamán a Nap körül meteorokból álló burokszerű kísérő raj formálódott, mely bizonyára elképzelhetetlenül sűrűbb, mint a világtérbeli meteoros anyag. Földünk számára mindenestre az előbbi sűrűség fontos, a Nap számára azonban csakis a világtérbeli sűrűség. E mellett még nem vetettünk számot azzal, hogy a meteorok nagy része talán nem is a világtérből származik, hanem már eredetileg a naprendszerhez tartozott.

A korona alakjára és az alakot előidéző okokra vonatkozó vizsgálatoknak főleg a korona sugaras szerkezetével kell foglalkozniok, mert ez a korona legfőbb jellemző sajátága.

A korona SCHAEBERLE-féle mechanikai elmélete. SCHAEBERLE a korona sugarait kiröpített anyagok áramainak tekinti, melyek nagyobb kezdő sebességük következtében a protuberanciáknál jóval messzebbre távozhatnak a felszíntől. Ha a kezdő sebesség másodpercenként körülbelül 620 kilométernél nagyobb s ha a légkörbeli súrlódást nem tekintjük, akkor a kiröpített tömegek elszabadulnak a Nap vonzásköréből s a végtelenbe távoznak.



SCHAEBERLE szerint a koronát az a fény okozza, mely a Nap felületéről függőlegesen kiröpített anyagokból indul ki, vagy azokról verődik vissza. Ezek az eruptív erők leginkább a foltok övében tevékenykednek. A Nap forgása következtében az így keletkezett áramok nem maradnak merőlegesek a Nap felszínéhez, mert valamely áram különböző részeinek szögsebessége annál kisebb lesz, mennél távolabbra kerül a Naptól, ennél fogva ezek az áramok térbeli görbék lesznek. De magában véve az áram minden egyes részecskéje kúpszeletet ír le, mely igen elnyúlt ellipszis lesz, a míg a kezdősebesség nem haladja meg a már említett 620 kilométert.

A korona különböző fotografiáin látható bizonyos eltérések egyszerűen azzal magyarázhatók, hogy a Nap egyenlítője  $7\frac{1}{4}^{\circ}$ -kal hajlik a földpálya síkjához, a melyben a megfigyelő tartózkodik. Aszerint, a mint a megfigyelő a Nap egyenlítője fölött, alatt, vagy pontosan annak síkjában van, az áramoknak perspektivikus egymás fölé helyezkedése és metszése elő fogja idézni a korona tipikus alakjának látszólagos változásait. SCHAEBERLE matematikai vizsgálat tárgyává tette, hogy mint alakulnak a nehézségi és centrifugális erők hatása alatt a kiröpített részecskék pályái. Forgó modelleket is készített a koronáról, hogy a matematikai eredményeket a kísérlettel összehasonlítsa. Ő azon a nézetten van, hogy a korona általános jelenségeit ezekkel összefüggésbe tudja hozni. Különös súlyt helyez a koronának annyira határozottan felismerhető sarki sugaraira. Ha a sarki sugarak valóban a sarkok tájékán keletkeznének, akkor az okot erre természetesen magában a Napban kellene keresnünk. Ellenkező esetben ezek a sugarak nem egyebek, mint oly áramok, melyek a Nap egyenlítője tájékán keletkeztek s csak perspektivikusan látszanak a sarkok fölött vagy alatt.

E helyütt nem bocsátkozhatunk a SCHAEBERLE-féle föltevések részleteibe, de néhány következtetésről meg kell emlékeznünk. Minthogy a kiröpített részecskék pályái ellipszisek, végül ismét vissza kell esniök a Napra, a mi azután megmagyarázná a korona szerkezetében mutatkozó időszakos változásokat s egyszersmind a napfoltok periodusát is. A kiröpített anyagok héliocentrikus szélessége közel ugyanaz marad. Ha minden áramot határozott zónában röpíti ki valamely hirtelenül nyilvánuló erő, akkor

ezen áram elülső részei útjuk első felét akadálytalanul fogják megtehetni, de a visszaeséskor az ugyanazon, vagy más árammal való összeütközés lehetősége mindig valószínűbb lesz, még pedig a Naptól való távolság négyzetével fordítva arányosan. Ennélfogva a napfelszín közelében összeütközéseknek kell történniök, melyek az elinduló áramokat hátráltatják s egyszersmind hőmérsékletemelkedést idéznek elő, minek következtében a megfelelő helyek fényesebbnek látszanak. Előző ütközés nélkül közvetlenül a Nap felszínére visszaeső áramok ott igen erős hőmérsékletemelkedést fognak előidézni.

A míg a visszatérő áramok nagyon számosak, addig nagymértékben hátráltatják a kifelé induló áramokat. Ennek az lesz a következménye, hogy a pálya befutására szükséges idő után csak kevés áram fog visszatérni, úgy, hogy a kiinduló áramok számára az út megint szabadabbá válik. Ebből következik a tűnemény időszakos jellege s a naptevékenység 11 éves periodusának magyarázatához már csak azt kell föltenni, hogy a pálya befutásához szükséges idő átlag 11 év. De fölösleges ezzel behatódobban foglalkoznunk, mert ha nem is tagadható, hogy sok szól a koronasugaraknak ezen mechanikai és perspektivikus magyarázata mellett, azért a napfoltok magyarázatára még sem szabad felhasználni. Azt kellene t. i. ekkor föltennünk, hogy a koronasugarak sűrűsége igen nagy, pedig bizonyos, hogy sűrűségük igen csekély.

Sokkal több figyelmet érdemel SCHABERLE-nek az a kísérlete, hogy az állatövi és az ellen-fényt a Föld pályáján messze túlmenő koronasugarakkal magyarázza. Ha a Föld ilyen sugárkéve útjába kerül, akkor ezek a sugarak finomságuk következtében rendesen nem láthatók, kivéve oly helyeken, melyeken perspektivikusan összefutnak. Ez elsősorban a Nap felé eső irányban van így, a hol a sugarak intenzívebben világítanak is. A második maximumnak az ellenkező irányba kell esnie, de ez a maximum természetesen sokkalta gyöngébb lesz s ez lenne az ellenfény.

Mikor a Föld decemberben és júniusban a napegyenlítő síkjában tartózkodik, akkor az áramövek szimmetrikusan vannak hozzá képest elhelyezve s legtávolabb esnek tőle. Ilyenkor a Nappal ellentett irányban nem jöhetnek létre nagy fényellentétek. De mikor a Föld legmagasabban (szeptember) van a napegyenlítő fölött, vagy legmélyebben alatta (márczius), akkor legközelebb van az áramöv



legsűrűbb helyéhez. Vetületben ez a sűrűség az ekliptikával közel összeeső síkban lesz a legnagyobb. Az áramtöbblet a maximális sűrűség felé eső irányban márcziusban kissé a sík fölé, szeptemberben pedig kissé alatta fog eltolva látszani. Mindez körülbelül megegyezik az állatövi fény valóságos viselkedésével.

A napfoltperiodus és a Föld mágneses jelenségei, valamint az északi fény között levő összefüggést — melyről később még szólunk — SCHAEBERLE szintén koronasugaraknak tulajdonítja, melyeken a Föld keresztülhalad.

EBERT *elektromágneses koronaelmélete*. HERTZ vizsgálatai szerint éterhullámokat bocsát ki az oly test, melyben periodikus elektromos rezgések mennek végbe. Ezen hullámok hossza függ a test méreteitől. Ha a Napot tekintjük ilyféle »oszcillátor«-nak, akkor a belőle a fény sebességével kiinduló hullámok 1 950 000 km hosszúak lennének, periodusuk pedig  $6\frac{1}{2}$  másodpercet tenne ki. A rezgéseket az elektromos egyensúly hirtelen megzavarása váltja ki. Kísérlettel megállapították, hogy ritkított gázok világítóvá válnak, mikor elektromos hullámok haladnak rajtuk keresztül. EBERT ennél fogva azt teszi föl, hogy a korona a Nap közelében levő rendkívül finoman eloszlott anyag visszahatása a Nap különböző részeiből kiinduló elektromos hullámokra. EBERT abból a célból, hogy e nézet valószínűségét beigazolja, a következő kísérletet hajtotta végre: erősen ritkított gázzal telt nagy üveg-hengerbe helyezett sárgarézgolyót drót segítségével elektromos oszcillátorral kötött össze a LECHER-féle elrendezés szerint. Így maga a golyó volt tekinthető az elektromos hullámok kiindulási helyének. A ritkított gázban a golyóból kiinduló áramok váltak láthatóvá, a nélkül, hogy konduktor lett volna jelen az üveg-henger közelében.

Az áramok a golyónak különösen ama pontjaiból indulnak ki, a melyeken a zavaró okok lehetőleg sűrűen vannak együvé szorulva, tehát különösen a felszínnek szabálytalanul görbült részeiből, melyeket mesterségesen készítettek. A következő tünetek mutatkoztak:

1. A gömböt fényburok veszi körül, melyen át a felszínről

minden irányban sugarak hatolnak, úgy hogy a burok ezáltal specziális szerkezetűvé lesz.

2. A fényburok erősen kiterjed s egyúttal sugaras szerkezete is nagyon észrevehetővé válik, ha az elektromos rezgések igen hevesek, olyanformán, mint a korona napfoltmaximumkor.

3. A fényburok összezsugorodik és elveszti szerkezetét, ha a rezgések gyöngülnek, hasonlóan a koronához napfoltminimumkor.

4. Különösen ha a gáz sűrűsége kissé nagyobb, akkor minden irányban lövellődnek sugarak, melyek 12 cm hosszúságot is elérnek, a mi a gömb átmérőjének nyolczszorosa. E sugarak nem mindig merőlegesek a gömb felületére, úgy hogy a perspektivikus eltolódás következtében némelykor érintői irányban látszanak kiindulni belőle. Ezek a sugarak főleg akkor képződnek, mikor az üveghenger külsőleg a Földdel van összekapcsolva fémes vezető által. E jelenséggel az az eset lenne azonos, mikor nagykiterjedésű kozmikus portömegek vannak a Nap közelében.

5. Ha a gömb felszínének folytonosságát egy helyen megszakítjuk, pl. darabka stanniollal, akkor az innét kiinduló sugárhoz oldalt erősen sötét térségek csatlakoznak. Ez a jelenség a koronán is gyakran észlelhető.

6. Ha a gömb közelébe más vezető anyagot helyezünk, például selyemfonálra függesztett fémgömböt, akkor az első gömb felületére merőlegesen kiinduló sugarak csakhamar a másik gömb felé görbülnek és igyekeznek ennek a felületét is merőlegesen érni. A Nap szomszédságába kerülő nagymennyiségű vasmeteoroknak kellene a korona sugarainak illetén meggörbülését előidéznöök.

7. Közönséges levegőben a sugarak halványpirosak, ellenben hidrogénben gyengén ezüstszerűek. *Ilyenkor a színekép folytonos.* Ezen utóbbi tény alapján az eddigről teljesen különböző úton magyarázhatnók meg a korona folytonos színeképét.



## HUSZADIK FEJEZET.

A Nap hőmérséklete. Elektromágneses hatásai  
a Földre.

Az eddigiekben hallgatagon föltettük, hogy a Nap hőmérséklete igen nagy, de értékét pontosan nem vizsgáltuk.

Ez a kifejezés, »a Nap hőmérséklete« tulajdonképpen helytelen, mert befelé mindinkább sűrűsödő gázgömbben egységes hőmérsékletről nem lehet szó. A Nap külső részének hőmérséklete okvetetlenül alacsonyabb, mint a belsőé, mert a külső részek hőt sugároznak ki a világtérbe, tehát lehűlnek. De a Nap belsejéből mindig jut hő a külső rétegekbe, még pedig leginkább áramlás útján, ezért a külső részek nem hűlnek le az izzás hőfoka alá, a hőveszteség és nyereség között egyensúly van.

A Nap hőmérsékletére csak a hozzánk jutó sugárzás természetéből tudunk következtetni, tehát a »Nap hőmérséklete« csak annak a rétegnek a hőfokát jelentheti, a melyből a sugárzás lényegében kiindul. Ez pedig a fotoszféra. De kifejezésünk pontatlanságát evvel még nem szüntettük meg. Az egyes anyagoknak eltérő hőkibocsátó képességük van, a mely még a hőmérséklettel is változik. A míg tehát nem tudjuk, hogy a fotoszférában milyen anyagok sugároznak, addig a hőmérséklet pontos meghatározásáról szó sem lehet. Mi csak a fekete test sugárzásának törvényét, a KIRCHHOFF-féle függvényt ismerjük. Tehát kénytelenek vagyunk ezt a törvényt alkalmazni és az úgynevezett »effektív hőmérsékletre« kell szorítkoznunk. Ilyen hőfoka akkor volna a Napnak, ha szigorúan fekete test lenne, de méretei és sugárzása a mostaniak maradnának. A következőkben a »Nap hőmérséklete« mindig az effektív hőmérsékletet jelentse, még pedig abszolút mértékben.

A KIRCHHOFF-féle függvényt, vagy PLANCK-nak a sugárzás energiáját kifejező egyenletét, mint láttuk, több olyan törvényre lehet felbontani, a melynek alapján a hőmérsékletet meg lehet határozni. 1. Ha az összes sugárzást mértük meg, akkor ez a hőmérséklettel az egyszerű STEFAN-féle törvény értelmében függ össze. Eszerint a kisugárzott hő mennyisége a hőmérséklet

negyedik hatványával arányos. 2. Megmérhetjük annak a sugárzásnak erősségét, a melynek meghatározott hullámhossza van, ha valamiképpen a többi sugártól el tudtuk különíteni. Ekkor a hőmérsékletet az általános PLANCK törvénye alapján határozzuk meg. 3. Ha éppen azt a hullámhosszat választottuk, a melynél a sugárzás a legerősebb, akkor a sugárzás erőssége az abszolút hőmérséklet ötödik hatványával arányos. 4. Egyáltalában nem mérjük meg a sugárzás erősségét, hanem csak azt a hullámhosszat keressük meg, melynél a sugárzás a legerősebb. Ennek alapján a hőmérsékletet a WIEN-féle eltolódási törvényből számítjuk ki.

A négy módszer közül az első a legegyszerűbb, mert a sugárzás erősségét közvetlenül meg lehet mérni anélkül, hogy színeképét elő kellene állítanunk úgy, mint a másik három módszernél. Mint láttuk, mégis sok nehézséggel jár. A közölt vizsgálatok szerint a napsugárzás állandója 2·0 és 3·0 grammkalória között van. Kisebb vagy még nagyobb értékek kétségtelenül lehetetlenek. A legvalószínűbb értéknek 2·3 grammkalóriát vettük. Minthogy a sugárzás erőssége a hőmérsékletnek magas hatványával, a negyedikkel arányos, a napsugárzás állandójának nagyobb bizonytalansága is csak kevésbé befolyásolja a hőmérséklet meghatározását. Ha a 2·3 grammkalória értéket használjuk, akkor a Nap hőmérséklete  $6250^{\circ}$ . Ezt veszszük a Nap effektív hőmérséklete legvalószínűbb értékének.

Mikor a Nap effektív hőmérsékletét WIEN törvénye alapján határozták meg, jóval kisebb értékekre jutottak. LANGLEY beható vizsgálatai szerint a Nap sugárzása  $0\cdot6\ \mu$  hullámhossz közvetlen közelében a legerősebb. Ebből a Nap hőmérsékletére  $5000^{\circ}$ -nál valamivel kisebb értéket kapunk. De ha a sugárzás legerősebb helyének meghatározása egészen pontos is, még nem biztos, hogy ez a hely a valóságos viszonyoknak megfelel. Mert légkörünk elnyelése lényegesen módosítja annak a görbének alakját, a mely a napsugárzás energiájának eloszlását tünteti fel. De akkor a legerősebb sugárzás helye is változik. Már VERV bebizonyította, hogyha a légköri elnyelést tekintetbe veszszük, akkor a legerősebb sugárzás helye a színekép törékenyebb vége felé tolódik el. Ekkor pedig a Nap hőmérsékletére nagyobb értéket kapunk. Később erre a kérdésre még visszatérünk.



Kíséreljük most meg annak a nehéz feladatnak megoldását, hogy az effektív hőmérséklet előbbi értéke,  $6250^{\circ}$  alapján a fotoszféra valóságos hőmérsékletét meghatározzuk. A valóságos hőmérséklet mindenestre magasabb, mint az effektív, mert a fekete test hőmérséklete megegyező sugárzás mellett alacsonyabb minden más test hőmérsékleténél, de főleg azért is, mert a Földre jutó sugárzás a fotoszférán kívül szenvedett elnyelés miatt már nagy mértékben gyengülve hagyja el a Napot. Erre nézve a következőket kell meggondolnunk.

Miként láttuk, a Napot fényelnyelő burok veszi körül, ezért a napkorong a széle felé sötétebbnek látszik. A korong széle felé az ibolya sugarak elnyelése sokkal nagyobb, mint a vöröseké. A következő táblázat a Nap elnyelő burkának átbocsátási (transzmissziós) együtthatóját tartalmazza különböző hullámhosszakra nézve.

$\lambda$	Az átbocsátási együttható
0.9 $\mu$	0.97
0.8	0.88
0.7	0.79
0.6	0.70
0.5	0.62
0.4	0.53
0.3	0.44

A burok tehát az ibolya felé eső színekre nézve mindig kevésbé átlátszó. Az átlagos átbocsátási együttható 0.70. Ez az érték jól egyezik avval, a melyet FROST közvetlenül hőtani mérésekből, tehát az egész sugárzás méréséből kapott. Ez 0.72 volt. Ennek az együtthatónak segítségével könnyen meg lehet határozni, hogy a Nap fényelnyelő burka a fotoszférából kiinduló sugárzásnak mekkora részét nyeli el. A számítás eredménye az, hogy a fotoszférából kiinduló sugárzás erőssége 1.7-szer nagyobb, mint a Napból valóban kilépő sugárzás. A napsugárzás állandója 2.3 grammkalória, de a külső burok nélkül 3.9 grammkalória lenne. Ennek az értéknek  $7060^{\circ}$  felel meg, mint a fotoszféra valóságos hőmérséklete. A Nap légkörének elnyelése folytán, éppen úgy mint a mi légkörünk elnyelése miatt is, a legerősebb sugárzás helye eltolódik. A valóságos sugárzásban ezt a helyet 0.1  $\mu$ -nal kell az ibolya felé eltolni, a mi szintén emeli a hőmérséklet értékét.

A fotoszféra előbbi effektív hőmérsékletét, melyet az elnyelés tekintetbe vételével kaptunk, még mindig alsó határnak kell tekintenünk. De föltehetjük, hogy a valóságos értéktől csak kevéssel különbözik.

Ha a fotoszférát felhőréteghez hasonlónak tekintjük, a mely úgy keletkezett, hogy valamelyik anyag a telítettség elérése után bizonyos magasságban lecsapódott úgy, mint a mi felhőinkben, akkor a sugárzás gázrétegben lebegő szilárd, vagy folyékony részecskékből indul ki, mint a lángban. Ha a gázréteg elég vastag, — pl. gázlángnál 1 m-nyi vastagság sem kell —, akkor a sugárzás akármilyen anyagból indult ki, a fekete test sugárzásával egyezik. A fotoszféra vastagsága mindenesetre néhány ezer km. Ha sűrűsége akár milliószor kisebb, mint a gázlángé, akkor is feketén sugárzó lenne. Valószínű tehát, hogy a fotoszféránál a valóságos és az effektív hőmérsékletek nagyon kevéssel különböznek. Mindazonáltal a valóságos hőmérséklet értelmezése mégis nehéz feladat marad.

A hőmérséklet a fotoszféra belsejében is bizonyára növekszik az alsó rétegek felé, tehát különböző hőmérsékletű rétegek fekete sugárzása helyezkedik egymás fölé. A fotoszféra szomszédos helyein is különböző a hőmérséklet, mint a szemcsézettség mutatja. Ha egyáltalában fekete sugárzás keletkezik, akkor a fotoszféra világosabb szemcséin nagyobbban kell lennie a hőmérsékletnek, mint a közbeeső sötétebb helyeken. Az eredmény ismét csak az, hogy a Nap sugárzása különböző hőmérsékletű fekete sugárzások eredője. A fotoszféra átlagos hőmérsékletét  $7000^{\circ}$ -kal jól megközelítjük, tehát az előbbi megfontolások eredményét a következő szabályban foglalhatjuk össze: A fotoszféra átlagos hőmérséklete  $7000^{\circ}$ . A Nap fizikájában minden számításnál ezt az értéket kell használnunk. Ha a Nap külső hatásáról van szó, akkor csak az a sugárzás érvényesül, a melyet a külső burok elnyelése már gyengített. Ekkor a Nap effektív hőmérsékletétől  $6250^{\circ}$ -ot kell venni.

Vajjon ezt a mostani hőmérsékletet hosszú időre állandónak vehetjük-e fel? Vagy pedig ez a hőmérséklet fokozatosan és lassan változik-e, esetleg időszakosan ingadozik?

Bizonyos, hogy a kisugárzás a Nap hőmennyiségét folytonosan csökkenti, hacsak külső forrás a veszteséget nem pótolja. Ezért a hőmérséklet csökkenését várhatjuk. Már pedig a Nap



hővesztésege nagyon jelentékeny. Említettük, hogy a Nap a Földtől számított közepes távolságából, vagyis 149 481 000 km-nyiről minden  $\text{cm}^2$  területre perczenként 2·3 grammkalória hőt sugároz. Az egész hővesztéseget tehát úgy kapjuk meg, hogy a 2·3 grammkalóriát annak a gömbnek  $\text{cm}^2$ -ben kifejezett felszínével szorozzuk, a melynek sugara a Föld átlagos távolsága a Naptól. Ez a hőmennyiség évenként  $33 \cdot 10^{32}$  grammkalória.

Ha ismernők a Nap fajhőjét, akkor a hőmérséklet évi csökkenését ki lehetne számítani. Talán nem követünk el nagy hibát, ha a Nap fajhőjét 1-nek vesszük, vagyis akkorának, mint a vízé, mert a hidrogén, a mely a Nap anyagának lényeges része, nagyobb fajhőjű (3·41), a legtöbb más fémgőz fajhője pedig jóval kisebb.

Ha a Nap sűrűségét 1·4-nek vesszük, akkor tömege  $19 \cdot 10^{32}$  gr. A fajhő előbbi értéke mellett  $1^0$ -kal való lehűlésnél a Nap  $1 \cdot 19 \cdot 10^{32}$  grammkalóriát veszít, egész vesztésege évenként  $33 \cdot 10^{32}$  grammkalória, tehát hőmérsékletének évi csökkenése  $33 \cdot 10^{32} : 19 \cdot 10^{32} = 2^0$ . Ez akkor érvényes, ha a fotoszféra effektív hőmérsékletétől a mai legvalószínűbb értéket vesszük, kereken  $6000^0$ -ot.

Jelenleg még nem ismerjük azt a törvényt, hogyan csökken a Naphoz hasonló összetételű gázgömb hőmérséklete a sugárzás folytán. A lehűlés a világegyetem hőmérsékletére természetesen csak végtelen hosszú idő múlva következik be. Idevágó ismereteink hiányossága miatt ajánlatos mennél egyszerűbb föltevéseket bevezetni. Tegyük föl, hogy a hőmérséklet mértani sor szerint, vagyis évenként értékének ugyanannyiadrészére csökken. Ha pl. kiszámítjuk, hány év alatt csökkent a Nap hőmérséklete értékének kétszereséről mai  $6000^0$ -os hőmérsékletére, akkor 1500 évet kapunk. A STEFAN-féle törvény szerint a Nap sugárzásának erőssége ezalatt értékének  $1/16$  részére csökkent. Ilyen nagy változást kétségtelenül világosan észre lehetett volna yenni. Mindenesetre érdekes a számítást lehetőleg pontosan elvégezni. Azelőtt egyszerűen felvették, hogy a Föld belső hője az éghajlatot elenyésző kis mértékben befolyásolja, az éghajlat csak a Nap hatása. Újabban ez a vélemény megdőlt. ZENKER többféle módszerrel mindig arra az eredményre jutott, hogy a Föld felületének hőmérséklete a Nap sugárzása nélkül  $-73^0$  lenne. De HANN szerint a Föld felületének közepes hőmérséklete  $15^0$ , tehát a Nap sugárzása

88°-kal emeli a Föld hőmérsékletét. 1500 évvel ezelőtt a fölmelegedésnek 16-szor nagyobbak, 1400<sup>0</sup>-nak kellett volna lennie. De ez persze nem így volt. Egyáltalában nem kétes ugyan, hogy sok évezreddel ezelőtt a Föld hőmérséklete jelentékenyen magasabb volt, mint most, részben azért, mert a Föld saját hőmérséklete magasabb volt, részben pedig azért, mert a Nap is magasabb hőmérsékletű volt. A Nap ugyanis, mint az állócsillagok fejlődése mutatja, valamikor az első színeképcsoportha tartozott. De ha csak 5000—6000 évvel ezelőtti időre megyünk vissza, akkor arra az eredményre jutunk, hogy most a közepes hőmérséklet legalább Európában magasabb, mint abban az időben volt, körülbelül a harmadik jégkorszak idején. A többféle jégkorszak éppen azt mutatja, hogy az utóbbi évezredekben az átlagos hőmérséklet százados csökkenéséről nem lehet szó, hanem talán csak nagy időszakos változások álltak be a helyi átlagos hőmérsékletben.

Igaz, hogy azok az adatok, melyekkel a Nap hőmérsékletének évi csökkenését kiszámítottuk, meglehetősen bizonytalanok, különösen az a törvény, a mely a hőmérséklet csökkenésének összefüggését a kisugárzással fejezi ki. De még ha a kapott érték százszor nagyobb a helyesnél, a mi okvetlenül túlzás, akkor is 1500 évvel ezelőtt a Föld felületén az átlagos hőmérsékletnek 14°-kal magasabbnak kellett lennie, mint most. De még ez is lehetetlen.

Nyilvánvaló tehát, hogy még egy tényezőnek kell közreműködnie, a mely a Nap hőmérsékletének a kisugárzás folytán beálló csökkenését egészen, vagy legnagyobb részben kiegyenlíti. A kiegyenlítést kétféle módon képzelhetjük el: vagy kívülről kap a Nap energiát, tehát a Napnak sem hőmérséklete, sem energiája nem csökken. Vagy valamilyen belső folyamat fenntartja ugyan hőmérsékletét, de akkor a Nap energiája fogy. Az utóbbi esetben a kiegyenlítés csak bizonyos korlátolt ideig lehetséges, míg az első esetben, tekintve a világegyetem végtelen kiterjedését, korlátlanul hosszú ideig.

Vizsgáljuk először az energia pótlását kívülről. Először arra gondolhatnánk, hogy a többi állócsillag hőt sugároz a Napra. Hiszen ezek éppen úgy veszítenek hőt sugárzás folytán, mint a Nap. A Földön még a legfényesebb állócsillagok sugárzása is oly csekély ugyan, hogy a legérzékenyebb készülékkel alig sike-



rült kimutatni, de az összes sugárzott hő, a melyet olyan nagy gömb, mint a Nap, nyel el, mindenesetre jelentékeny. Minthogy azonban ez a sugárzás a Földet is éri és a tapasztalat szerint még a nagy mértékben kihűlt Föld kisugárzása mellett sem vehető észre, azért nem gondolhatunk arra, hogy a Nap kisugárzása ilyen módon pótlást talál.

A másik lehetséges mód a Nap energiaveszteségének pótlására az, hogy a Nap meteorokkal összeütközik. Ez a Nap tömegét is növelné. A meteorok rendesen igen nagy sebességgel mozognak, ezért az összeütközésnél kis tömegük ellenére nagy hőmennyiség fejlődhet. Ennek az energiaforrásnak nagy jelentőséget tulajdonítottak és kiszámították nagyságát. A Napba hulló meteorok tömegére a földi viszonyokból következtettek. De már láttuk, hogy ez nem helyes.

Kiszámíthatjuk, mekkora meteortömeg kellene ahhoz, hogy ütközésével a Nap hőveszteségét pótolja. Ha egy test kezdősebesség nélkül a Nap vonzásának erőterébe lép, akkor másodpercenként 607 km-es sebességgel ér a Naphoz. Ebből következik, hogy  $7 \cdot 10^{22}$  kg tömeg kellene a Nap évi  $33 \cdot 10^{32}$  grammkalóriányi hőveszteségének pótlására. Ha a meteorok sűrűségét egyenlőnek vesszük a vaséval, akkor az előbbi tömeg térfogata  $0.9 \cdot 10^{15}$  m<sup>3</sup>. De ekkora tömeg a Nap tömegének milliomod-része. Ekkora gyarapodás a Föld keringésének idejét, vagyis az év hosszát évenként 1 másodpercczel megrövidítené, a mi az összes megfigyelésekkel ellenkezik.

A mult század nyolczvanas éveinek elején SIEMENS WILLIAM elmélete jelent meg, a mely szerint a Nap kisugárzása nem szóródik el a térben, hanem az energia legnagyobb része a Napra visszajut. Ez az elmélet nagy feltűnést keltett, azért itt is megbeszéljük.

SIEMENS fölteszi, hogy a világűrt rendkívül ritkított gázok, mint hidrogén, oxigén, nitrogén, szénvegyületek és a kozmikus por igen finom részecskéi töltik ki. Az égítetek magukhoz vonzák ezeket az anyagokat és így légkör keletkezik körülöttük. A naprendszer mint egészét is ilyen légkör burkolja, sűrűsége a bolygók és a világegyetem légkörének sűrűsége között van. A ritkítás oly nagy fokú, hogy ez a légkör a bolygók mozgását észrevehetően nem befolyásolja.

A Nap, mikor ebben a légkörben sűrűlódással forog, legyező módjára hat. A gázokat a sarkokhoz szívja, majd a gázok az egyenlítőhöz jutnak, innen pedig újra elhagyják a Napot. Mikor ez a ritkított gáztömeg a Naphoz közeledik, sűrűsége egyre növekszik és egyúttal fölmelegszik. Mikor a fotoszférával érintkezik, égni kezd és így nagy hő fejlődik, a mely a Nap energia-vesztését pótolja. Az égéstermékek az egyenlítőn újra elhagyják a Napot, a világűrbe távoznak. A SIEMENS-féle elméletnek legfontosabb része az, hogy a Nap sugárzása az égéstermékeket ismét regenerálja. Ez az átalakulás egészen igénybe veszi a Nap kisugárzott energiáját, tehát a sugárzás nem szóródhatik a végtelenségbe. SIEMENS ennek a föltevésnek jogosultságát TYNDALL kísérleteire alapítja. TYNDALL szerint a vízgőz és más vegyületek a sugárzott hőt nagy mértékben elnyelik és erős hőforrás sugarai több elnyelő gőzt bontanak fel részeire, mint a mennyi a hőforrásul szolgáló gázok közvetlenül megmérhető hőmérsékletének megfelelne. SIEMENS a következő kísérletnek nagy bizonyító erőt tulajdonít: Vízgőzzel megtöltött üvegcső egyik végét —  $32^{\circ}$ -ra hűtötte le. A vízgőz nyomása ekkor  $\frac{1}{1800}$  légköri nyomás. A cső-

ben elektromos kisülést nem lehetett előállítani. Ez csak akkor sikerült, ha a cső szabad végét néhány órán át napsugarak érték. A kisülés alakjából hidrogén jelenlétére lehetett következtetni.

SIEMENS elméletéhez nagy vita fűződött, sok kifogást hoztak fel ellene, de tagadhatatlan, hogy SIEMENS ezeknek nagy részét meg tudta cáfolni. De különösen HIRN ellenvetése mutatja a SIEMENS-féle elmélet helytelenségét. A Nap felületén akkora a hőmérséklet, hogy vegyületek nem maradhatnak meg. A sarkok felől áramló gázoknak tehát már a felülettől nagy távolságban kell elégniök. A mint az égéstermékek a Naphoz közelednek, újra felbomlanak, tehát végeredményben a Nap nem kap hőt. Azt is bajos elképzelni, hogy a kozmikus gázok, melyeknek sűrűsége okvetlenül igen kicsi, ilyen nagy mennyiségű energiát termelhetnek. Más szóval nehéz megérteni, hogy a Naphoz annyi energia jut, mint a mennyi sugárzás alakjában elhagyja, anélkül, hogy közvetlenül, vagy közvetve észreveennők.

Tehát arra a kétségtelen eredményre jutottunk, hogy a Nap sugárzás folytán energiát veszít, a melyet kívülről semmiféle



forrás sem pótol. Másrészt az is bizonyos, hogy a Nap hőmérséklete az utóbbi évezredekben alig csökkent. HELMHOLTZ elmélete nemcsak azt magyarázza meg, hogyan maradhat a Nap hőmérséklete a folytonos kisugárzás ellenére állandó, hanem azt is, hogyha a KANT-LAPLACE-féle elméletet a világegyetem kialakulására elfogadjuk, hogyan magyarázzuk a Nap magas hőmérsékletét. Ez a nagy hőfok abból keletkezik, hogy a Nap tömege összehúzódás (vagy zsugorodás) következtében a középpontja felé esik. Az így fejlődő hő független attól az időtől, a mely alatt az összehúzódás bekövetkezik. Azt a hőmennyiséget, a mely eddig ilyen módon keletkezett, a potenciálemélet alapján ki lehet számítani. Eszerint ha a Nap a Naprendszer határától mostani méretére egyszerre húzódott volna össze, akkor a számított hőmennyiség  $28\,611\,000^0$ -os hőmérsékletet idézett volna elő. De minthogy az összehúzódás sok millió, vagy helyesebben billió évig tartott és ezalatt a sugárzás folytonos hőveszteséget okozott, a Nap hőmérséklete aránylag csekély lett.

Vajjon azt az összehúzódást, a mely a Nap mostani hőmérsékletének fenntartására szükséges, közvetlenül észre lehet-e venni? Ha a Nap átmérőjének tizezredrésszel, vagyis  $0.2''$ -cel húzódik össze, akkor HELMHOLTZ szerint a fejlődő hő a hőmérsékletet  $2861^0$ -kal emeli. A hőmérséklet évi csökkenésére  $2^0$ -ot kaptunk és így ez a hőmennyiség 600 évre pótolná a veszteséget. De a Nap átmérőjét alig tudjuk  $1''$ -nyi pontossággal meghatározni, tehát 600 év alatt az átmérőnek azt a csökkenését, a mely a HELMHOLTZ-féle elmélet szerint előáll, nem tudjuk megmérni, hacsak nem sikerül a mérések pontosságát jelentékenyen fokozni. De azt is meg kell gondolnunk, hogy a Nap tömegének sűrűsödése nem okvetlenül nyilvánul az átmérő kisebbedésében, mert hiszen a Napnak tömege nem szilárd.

Mindig nem maradhat meg a Napnak ez a mostani, közel állandó hőmérséklete. Ha a Nap tömegének sűrűsége annyira megnagyobbodott, hogy a sűrűség további növekedése már nem pótolja a hőveszteséget, akkor a Nap hőmérséklete csökken. A végső állapot mindenesetre a teljes lehűlés, a hő- és fénysugárzás végül megszűnik. Hasonlóképpen a multa nézve sem tehetjük fel, hogy a Nap hőmérséklete állandó volt.

Mint az állócsillagokról szóló fejezetben látni fogjuk, VOGEL

az állócsillagok színképét csoportokba osztotta be. Az állócsillagok fejlődésének menetéből következtethetjük, hogy a Nap színképe valamikor a VOGEL-féle 1. csoportba tartozott és így a fotoszféra hőmérséklete akkor magasabb volt. Valószínűleg nagyobb volt az átmérő és a sugárzó felület is, tehát a Földre több hő jutott. DUBOIS utalt arra, hogy a Föld fejlődésének története nemcsak saját hőmérsékleti viszonyaitól függhetett, hanem a Nap hőállapotától is. DUBOIS kimutatta, hogy a melegebb korszakok viszonylagos tartama a későbbi hidegebb korszakokhoz képest összefüggésbe hozható avval a viszonylagos időtartammal, a meddig a csillag (a Nap) az egyes színképcsoportokban marad. Az összefüggést SCHEINER gondolata magyarázza meg. Eszerint a csillagok annyiszor tovább maradnak az egyik csoportban, mint a másokban, a hányszor több százaléka a csillagoknak van jelenleg abban a csoportban, mint a másokban.

*A Nap hőmérsékletének időszakos változása.* A Nap hőmérsékleti ingadozásainak legrövidebb időszaka, a mely a Nap forgásával nem függ össze, csak a napfoltoknak 11 éves periódusa lehet. A napfoltok számának váltakozását sok megfigyeléssel biztosan megállapították.

A fotoszféra fénysugárzása a foltok helyén gyengébb, mint másutt. A hősugárzás is bizonyára kisebb a napfoltban, mint a fotoszférában. A megfigyelések ezt igazolják. Valószínű tehát, hogy a Nap sugárzása gyengébb, mikor a felénk eső oldalán foltok vannak, mint különben.

Elméletileg mindezt nem lehet tárgyalni, mert nagyon sok körülmény bonyolítja a kérdést. A folt környéke rendesen fáklyákban gazdagabb, mint a fotoszféra többi része. A belőlük kiinduló erősebb sugárzás esetleg pótolja a foltok gyengébb sugárzását, sőt talán még tovább erősíti. Azt is meg kell gondolnunk, hogy a foltok csak külső nyilvánulásai belső, változó erősségű folyamatnak, a melynek más, kevésbé látható következményei is lehetnek. Éppen nem lehetetlen, hogy nagy foltképződés idején az egész fotoszféra hőmérséklete magasabb, vagy alacsonyabb, mint foltokban szegény időben. A különbség akkora lehet, hogy a foltok közvetlen hatását a sugárzásra fölülmulthatja. Tehát előre nem mondhatjuk meg, hogy a foltok egyáltalában befolyásolják-e a Nap sugárzását és melyik irányban.



Vegyük fel azt a legegyszerűbb esetet, hogy a foltok nem változtatják meg a fotoszféra hőmérsékletét és hősugárzásuk csak fele akkora, mint a környezeté. Az eddig észlelt legnagyobb foltok felülete a napkorong  $\frac{1}{40}$ -része volt. Ekkor a sugárzás erőssége  $\frac{1}{80}$ -részszel csökken. Ha ez az állapot huzamosabb ideig tart, akkor a Föld átlagos hőmérséklete  $1^{\circ}$ -kal kisebbedik, ezt pedig még éppen ki lehet mutatni.

A megfigyelhető meteorológiai jelenségek rendesen igen bonyolultak, tehát a sugárzás időszakos változása nem okvetetlenül nyilvánul meg a meteorológiai elemek megfelelő időszakos változásában. Lehet pl., hogy valamelyik hely közepes hőmérsékletében egyáltalában nem mutatkozik a sugárzás hatása, hanem csak a légnyomásban, vagy esetleg az eső mennyiségében. Másrészt nem tagadhatjuk, hogy az összes meteorológiai folyamatok hatása a növények gyarapodására közvetett úton jobban feltűnetheti a napsugárzás változásának hatását, mint a legpontosabb, de mindig egyoldalú meteorológiai megfigyelések. A növényeken az összes tényezők együttes hatása látszik, a meteorológus megfigyelő a néhány tényező közül egyet kiválaszt. Tehát ilyen észleléseket sem szabad mint tudománytalanokat elvetnünk. HERSCHEL ugyan túlzásba ment, mikor a gabona árából akart következtetni, mert hiszen ez nem *csupán* a meteorológiai tényezőktől függ, hanem sokkal inkább a politikai és társadalmi viszonyoktól.

Igen sokan keresték az összefüggést a napfoltok 11 éves időszaka és a meteorológiai jelenségek között. Minthogy azonban a napfoltok és a sugárzás összefüggésének értelmezésére elméleti alapunk egyáltalában nincs, tehát a meteorológiai adatokon alapuló vizsgálatok csak statisztikai jellegűek lehetnek. Ha a napfoltokat naponként megszámláljuk, számukban 11 éves periodust találunk. Esetleg a legtöbb és legkevesebb napfolt idejét is megállapíthatjuk, továbbá a foltok viszonylagos erősségét. Az így kapott görbéket össze kell hasonlítani azokkal, a melyek ugyanabban az időben a meteorológiai megfigyeléseket tüntetik fel, vajjon nincs-e hasonló menetük. Majd arról kell meggyőződünk, hogy az esetleges hasonlóság valóságon alapszik-e, vagy véletlen. Ez a vizsgálat legnehezebb része, különösen azért, mert a sugárzás változásának hatása a meteorológiai tényezőkre, a mint másképp nem is várhatjuk, csekély az egyéb körülmények okozta ingadozásokhoz

képest. Itt az önkénynek tág tere van, úgy hogy ha ketten ugyanazt az anyagot dolgozzák fel, könnyen juthatnak ellenkező eredményre.

Most már világos, hogy a napfoltok időszakosságának és a meteorológiai adatoknak összefüggésére vonatkozó eddigi vizsgálatok miért nem vezettek határozott eredményre.

Még azt is ki kell emelnünk, hogy ha a Nap tevékenységének 11 éves időszaka a hőmérsékletet és vele együtt a sugárzást nagy mértékben befolyásolja, akkor sem kell csodálkoznunk, ha ezt a hatást eddig nem ismerték fel, mert nem kell éppen a Föld közepes hőmérsékletének ingadozásában megnyilvánulnia. Az összes meteorológiai tényezőkre gyakorolt együttes hatásból talán többet lehetne következtetni, főleg ha a hatások hosszabb időn át összegeződhetnek. De úgy látszik, mintha a periodus rövid volna arra, hogy a hatások összetevődhessenek. De kérdezhetjük, vajjon a Nap hőmérsékletének változásában nincsenek-e jóval hosszabb periodusok, olyanok, a melyekre a geológia eredményeit lehetne alkalmazni. DUBOIS kísérte meg először, hogy egyes földrészek átlagos hőmérsékletének azokat a változásait, a melyeket a jégkorszakok jeleznek, a Nap hőmérsékletének változásaira vezesse vissza.

A glecserek keletkezéséhez nem kell különösen alacsony téli hőmérséklet. Nem tekintve a helyi körülményeket és a lecsapódás mennyiségét, kell, hogy a *közepes* hőmérséklet hosszabb időn át  $0^{\circ}$  közelében legyen. Jelenleg Európa közepes hőmérséklete körülbelül  $10^{\circ}$ . Ha ez a hőmérséklet  $10^{\circ}$ -kal csökkenne, akkor földrészünkön új jégkorszak kezdődne. Ekkora lehűlés úgy állhat elő, ha a Nap sugárzása erősségének  $\frac{1}{9}$  részével gyengülne.

A STEFAN-féle törvény szerint a sugárzásnak ez a változása  $3\%$ -os hőmérsékleti változásnak felel meg, vagyis a Nap effektív hőmérsékletének legvalószínűbb értékénél,  $6250^{\circ}$ -nál  $200^{\circ}$ -nak. Ez sokkal kevesebb, mint a mennyit azelőtt hittek. Ha azokra a helyi változásokra gondolunk, a melyek a fotoszférában minduntalan előállnak, inkább azon kell csodálkoznunk, hogy a Föld átlagos hőmérséklete állandó marad.

Persze nem tételezzük fel, hogy ekkora időszakos hőmérsékleti változások a Nap egész tömegében előállnak, hanem csak



a külső rétegben, a fotoszférában. A fotoszféra tömege a Nap egész tömegéhez képest elenyészően kicsi, tehát hőmérséklete a kisugárzás következtében hamar csökkenhetne, ha valamilyen oknál fogva a hőközlés a Nap belsejéből egészen, vagy csak helyenként időszakosan változnék. A hőmérséklet csökkentésében más változó okok is közreműködhetnek, így pl. az elnyelés változása a fotoszféra legfelsőbb rétegeiben, vagy a kibocsátó-képesség változása.

A Nap sugárzásának akkora időszakos ingadozása, a milyenről előbb beszéltünk, tehát nincs ellenmondásban a Napon megfigyelt fizikai jelenségekkel. De még mindig kérdéses, hogy évezredes periodusok a Nap sugárzásának változásában egyáltalában lehetségesek-e? Semmi határozottat erről nem mondhatunk és meg kell elégednünk avval, ha ilyféle föltevessel nem állíthatunk szembe jelentősebb valószínűségeket. És úgy látszik ez így is van. Mint-hogy *egy* időszakos változást a fotoszférában megállapítottak, t. i. a foltok 11 éves szakaszosságát, véleményünk szerint semmi akadálya sincs annak, hogy másféle, hosszabb periodusokat lehetségesnek vegyünk fel. Különösen nem lehetetlen ez, ha a napfoltok időszakának WILSING-féle magyarázatát elfogadjuk. Eszerint a periodus a belső, különböző szögsebességű rétegek szívósságának és a súrlódásnak következménye. Állandó okot is tudunk mondani, a mely mindig újabb és újabb feszültségkülönbséget okoz az egyes rétegek között. Ez a Nap gömbjének HELMHOLTZ elméletében feltett lassú összehúzódása.

Eddig a jégkorszakok beálltát a Föld mozgásának változásából igyekeztek levezetni. A Földre jutó sugárzásnak csak azt a változást vették figyelembe, a mely a sugárzó test távolságának és irányának módosulásából következik. De mindezek a magyarázatok hibásaknak bizonyultak. Ha valamikor azok az elméletek is ilyen sorsra jutnak, a melyek a jégkorszakokat tisztán földi körülményekből, mint pl. a Golf-áram irányának változásából, magyarázzák, akkor DUBOIS elmélete egyedül maradna meg és közvetetlen bizonyítéka lenne annak, hogy a Nap sugárzásának menetében hosszú szakaszosság van.

Az előbbieken röviden megemlítettük a naptevékenység 11 éves időszakának hatását a Föld meteorológiai jelenségeire, de a sok vizsgálat ellenére sem jutottunk határozott eredményre. Csak egy téren mutatkozott összefüggés a Nap periodusa és és földi jelenségek között, és ez annyira feltűnő, hogy bővebben kell vele foglalkoznunk. A földmágnesség elemeinek és a sarki fény gyakoriságának változására vonatkozik ez a kapcsolat, de ezen két jelenség között is kétségtelen összefüggés van.

Az egész Földön mágneses erőtér van, vagyis a szabadon mozgó mágnesű meghatározott irányban helyezkedik el és az a mágneses erő, a mely a tűt ebbe a helyzetbe kényszeríti, szintén meghatározott nagyságú. Az erő iránya és nagysága a Föld egyes helyein különböző és ugyanazon a helyen is folyton változik.

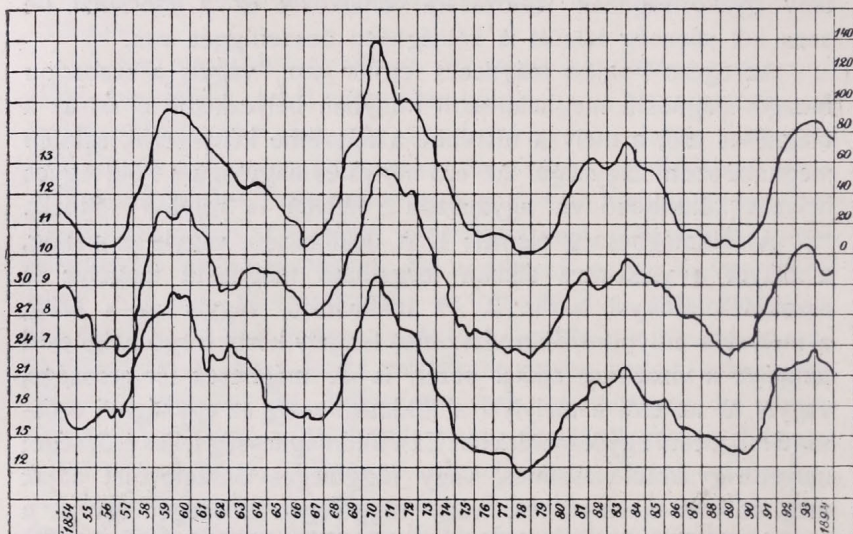
A földmágnesség elemei: 1. A deklináció, vagyis az a szög, a melyet a vízszintes síkban forgatható mágnesű tengelye az észak-déli iránnyal bezár. 2. Az inklináció, vagyis az a szög, a melyet a súlypontjában vízszintes tengely körül forgó mágnesű tengelye a vízszintes síkkal bezár. 3. A mágneses tér erőssége, vagyis az az erő, a melylyel a földmágnesség az egységnyi erősségű mágnesű egyik sarkára hat. Ez a földmágnesség teljes erőssége; helyette gyakran vízszintes, vagy függőleges összetevőjét adják meg, röviden a vízszintes, vagy függőleges erősséget. Így pl. a potsdami földmágnességi obszervatóriumban 1901-ben az átlagos deklináció —  $9^{\circ} 25' 1''$  volt nyugat felé, a közepes inklináció pedig  $+66^{\circ} 30' 3''$  északra.

A földmágneses elemek időbeli ingadozása igen bonyolult. Először is lassan lefolyó, úgynevezett százados változást észleltek. Pl. a deklináció százados változása Potsdamban évi  $+5' 2''$  (növekedés), az inklinációé évi  $+1' 4''$ . Ezenkívül időszakos jellegű változásokat is megállapítottak. Legvilágosabb a legrövidebb, a napi periodus, a mely a Föld forgásával függ össze, továbbá az évi periodus, a mely a Nap távolságának változásából ered. Minket most különösen az a 11 éves időszak érdekel, a mely a napfoltok időszakával pontosan összeesik.

A földmágneses elemeknek ezen a többé-kevésbé szabályos változásán kívül egészen szabálytalan, többnyire hirtelen kezdődő és gyors lefolyású ingadozásai is vannak. Ezeket zavaroknak nevezük, mert eltérést jelentenek a rendes menettől. A zavarok gyakori-



ságában és számában állandó ismétlődést látunk, a mely a napfoltok periodusával összefügg. A földmágneses elemeknek különösen napi változása igen eltérő nagyságú. A földmágneses elemek napi ingadozása a napfoltok számával együtt nő, vagy csökken, és a két jelenség legnagyobb és legkisebb értéke ugyanarra az időre



165. rajz.

Az első függélyes sorban a horizontális intenzitást, a második függélyes sorban a deklinációt jelző számok vannak. A legfelső görbe a napfoltok relatív számait, az alatta levő görbe a mágneses deklinációt, a legalsó görbe pedig a mágneses horizontális intenzitást érzékíti. A jobboldali függélyes sorban levő számok relatív számokat jelentenek. A legalsó sor az éveket jelzi.

esik. A megegyezés annyira megy, hogy a napfoltok számában előálló szabálytalanságok is visszatükröződnek a mágneses változások menetében.

165. rajzunk görbéi ezeket a viszonyokat igen világosan mutatják. A felső görbe a foltok viszonylagos számát tünteti fel, a középső a mágneses deklináció átlagos évi ingadozásának amplitudóját, az alsó pedig a földmágnesség vízszintes erősségének amplitudóját a greenwichi mágneses megfigyelések alapján.

A görbék menete annyira egyező, hogy WOLF egyszerű képletet

tudott szerkeszteni, melylyel a napfoltok viszonylagos számából ( $r$ )  $\alpha$  és  $\beta$  állandók segítségével a mágneses elemek ingadozásának nagyságát ( $a$ ) ki lehet számítani:  $a = \alpha + \beta r$ . Az  $\alpha$  és  $\beta$  értékét minden helyen és mindegyik elemre nézve külön kell a megfigyelésekből meghatározni. Pl. Milanóban a deklinációra nézve  $\alpha = 5.309'$  és  $\beta = +0.0469'$ . De SCHMIDT szerint a földmágneses zavarok nem pusztán a Nap tevékenységétől függnék, hanem részben más, eddig ismeretlen tényezőtől is.

Többen azt állították, hogy a földmágneses elemek változásában 26 napos időszak is van, a mely a Nap forgásával függne össze. Ilyen periodus csak akkor volna lehetséges, ha a mágneses vagy elektromos hatás a Napnak bizonyos délköréhez fűződne. WOLFER bebizonyította, hogy valóban vannak olyan helyek, a hol fáklyák és foltok sűrűbben keletkeznek, tehát nem volna feltűnő, ha a földmágnesség legalább bizonyos idő alatt a Nap forgásától függne.

A Nap forgása állítólag elsősorban az úgynevezett mágneses viharokban tükröződik, vagyis a földmágneses elemeknek azokban a heves és hirtelen változásaiban, a melyek a Földnek egymástól messze eső megfigyelőhelyein egyszerre jelentkeznek. MARCHAND megfigyelése szerint a zavarok akkor a legnagyobbak, ha a fáklyák, vagy foltok csoportja a napkorong középső délkörén vonul át, de a zavarok erőssége és a napfoltok átmérője között nem tudott összefüggést találni. VEEDER pedig éppen ellenkezőleg azt találta, hogy a zavarok akkor állnak be, ha a foltok a napkorong keleti szélén vannak.

HALE spektrohéliografikus felvételek alapján kimutatta, hogy ilyen összefüggések levezetése egészen meddő munka. 1892-ben 142 felvételt készített, közülök 132-ben a foltcsoportok a korong közepén voltak. Tehát 0.93 a valószínűsége annak, hogy mágneses zavar és valamely foltcsoportnak a napkorong középső délkörén való átvonulása egybeesik. Szóval 100 eset közül 93-ban ez a két jelenség már a véletlen folytán egybeesik.

MAUNDER 20 évig tartó megfigyeléseiből azt olvasta ki, hogy a mágneses viharok 27 napos időszakokban ismétlődnek, SCHUSTER pedig gondos vizsgálatokkal 27.278 napos periodust állapított meg. CARRINGTON szerint a Nap közepes forgásideje is ekkora. De lehet, hogy ez is csak véletlen egyezés.



Sokan vizsgálták azt a körülményt is, hogy a napfolt külsejének hirtelen változása mágneses viharral jár együtt. Gyakran idézik azt az esetet, hogy CARRINGTON 1859. szeptember 1-én nagy napfolton hirtelen változást észlelt és ugyanekkor Kew-ben a földmágneses elemeket író készülékek heves zavart jeleztek. De ezt az egyezést sem sikerült eddig megmagyarázni. Bebizonyítottnak csak a naptevékenység 11 éves időszakának és a földmágneses elemek változásának összefüggését tekinthetjük.

A sarki fény szorosan összefügg mágneses viharokkal. A nagyobb északi szélességű helyeket nem számítva, erős sarki fényt mindig mágneses vihar kísér. Tehát az északi fénynek a napfoltok időszakával is össze kell függnie. Ezt a vonatkozást sokan keresték. Sikerült is teljes párhuzamosságot megállapítani a napfoltok és az északi fény gyakoriságának menetében. Sőt ha az északi fény gyakoriságának évi összegét a napfoltok WOLF-féle viszonylagos számával összehasonlítjuk, akkor az előbbi összeget ábrázoló görbe maximumai és minimumai még sokkal élesebbek, mint a napfoltok viszonylagos számának görbéjében.

A legnagyobb napfoltok és az északi fény összefüggéséről is azt mondhatjuk, hogy néha feltűnő egyezést tapasztaltak, de a véletlen hatása itt sincs kizárva.

Arra, hogy mi az oka a napjelenségek és a földmágnesség összefüggésének, nagyon nehéz felelni. Sok föltevést állítottak már fel erre vonatkozólag, de véglegesen a kérdést addig semmiesetre sem lehet eldönteni, míg a földmágnesség lényegét nem sikerült tisztázni. Minden föltevésnek, a mely a napi és földi jelenségek összefüggését magyarázza, a földmágnesség okára vonatkozó föltevésen kell alapulnia.

A legrégibb és látszólag legegyszerűbb föltevés szerint a Föld állandó mágnes, melynek sarkai a Föld sarkainak közelében vannak. De a földmágneses mező erőssége ezt a föltevést megdönti. Mert vagy a felülethez közel kell a mágneses tömegnek lennie, vagy pedig a Föld belsejének erősebben kell mágnesezve lennie, mint amennyire a tiszta-acélt lehet mágnesezni. De a Föld szilárd kérgének anyagai csak kis mértékben mágnesezhetők, a Föld belsejét pedig már olyan magas hőmérsékletűnek képzeljük, hogy egyáltalában nem mágnesezhető.

NIPPOLDT a földmágnesség keletkezését a következőképpen

magyarázza: A Föld mágneses terét elektromos áramok keltik, a melyek nagyjában keletről nyugat felé folynak, a vezető pedig a Föld kérge. Igen kis áramerősség elegendő a megfigyelt mágnesség előidézésére. A talajvízzel átitatott szárazföldek sokkal jobb vezetők, mint a tengervíz és a földmágnesség szabálytalan eloszlását okozzák, mert a kelet-nyugati irányú áramokat oldalt eltérítik. A normális mágneses mezőt az áramnak az az összetevője kelti, a mely a normális mágneses tengelyhez tartozó párhuzamos körök irányába esik. A rendellenes mágneses mezőt azok az áramok idézik elő, a melyek a nagyobb szárazföldek kerületén az óramutató járásával ellenkező irányban keringenek, a vízfelületek körül pedig fordított irányban. A földmágnesség napi és évi változását főleg olyan elektromos áramok létesítik, a melyek a Föld kérgén kívül, a légkörben folynak.

Az említett földi áramokat valóban megtalálták; hosszabb kábel-, vagy telegráf-vezetékben könnyen kimutathatók. Erősségük változó és ez az ingadozás összefügg a mágneses zavarokkal. Mágneses zavarok idején a földi áramok olyan erősek lehetnek, hogy a telegrafálást lehetetlenné teszik. A földi áramokat és evvel a földmágnességet egyetlen okból aligha lehet levezetni. Bizonyára többféle tényező egyszerre működik. Az az egy bizonyos, hogy az okok egyikét, még pedig nem a leggyengébben ható okot a Napban kell keresnünk. Ennek az oknak erősségében beálló változások okozzák részben a periodusokat, így a 11 éveset. A földi elektromosság így közvetítő láncszem a Nap tevékenysége és a földmágnesség között. Légkörünkben, a mely a Nap közvetlen hatása alatt van, mindig folyik változó erősségű áram függőlegesen lefelé. Hegyek, főleg vulkánok, zavarják ezt az áramot. Üregekben, főleg a vegetációs réteg alatt, az elektromosság a szilárd Földbe áramlik. De a levegő elektromos vezetőképessége és a Napnak hozzánk jutó elektromos sugárzása a Nap- és évszaktól függ, tehát ezek a tényezők a Földdel közölt elektromosság mennyiségét szintén módosítják. A Föld felületének két pontja között a feszültségkülönbségnek ingadoznia kell, de akkor viszont meghatározott irányú földi áramok keletkeznek. Az áram iránya és erőssége, továbbá a feszültség természetesen változó. De az is természetes, hogy a kelet-nyugati irány túlnyomó, mert a sugárzás változásának legfőbb oka a Föld forgása.



Arra a kérdésre, milyen a Nap hatása és hogyan függnek össze a mágneses viharok a Nap forgásával, bajos felelni. »A Nap elektromos sugárzása« keveset fejez ki.

Közvetetlen mágneses hatás éppen úgy lehetetlen, mint általában a földmágnességnél, mert a Nap az észlelt hatást akkor sem kelthetné, ha aczélmágnes lenne. Ez alkalommal érdekes lesz a mágneses viharokat keltő erők nagyságával is megismerkednünk. SCHUSTER kiszámította, hogy az egyik mágneses viharnál az erőknek az egész földön 2·82 millió lóerőnyi effektusuk volt. Ennyi munka árán azalatt a 25 percz alatt, míg a vihar tartott, 7700 tonna vizet 0°-ról a forráspontra lehetett volna melegíteni.

Az elektromosság lényegére vonatkozó újabb felfogásunknak megfelelően azt a föltevést állították fel, hogy a Nap minden irányban folyton negatív töltésű részecskéket bocsát ki. A hozzánk jutó ilyen részek energiája tartja fenn a földi áramokat. A mágneses zivatarok akkor állnak elő, ha különösen sok részecske indul ki a Napból. De LORD KELVIN és SCHUSTER kimutatták, hogy a Nap tartósan ekkora energiamennyiséget nem veszíthet. 8 órás mágneses vihar előidézésére annyi energia kell, a mennyit a Nap csak 4 hónap alatt sugároz ki. Másik nyomós ellenvetés az, hogy a negatív töltés kibocsátása miatt a Napnak idővel akkora pozitív töltésre kell szert tennie, hogy negatív töltés az elektromos vonzás miatt nem is hagyhatná el.

SCHUSTER legújabb ismereteinknek megfelelően föltételezi, hogy a mágneses viharoknál felhasznált energia nem a Napból származik, hanem földi eredetű; a Nap ezt a jelenséget csak megindítja. Az energia forrásául SCHUSTER a Föld forgásának energiáját tekinti, a mely a viharok energiájához képest igen jelentékeny. Még ha millió éven át évenként 100, igen erős mágneses vihar folyik le, akkor sem csökken a Föld forgásának energiája többet, mint mikor a forgás ideje évenként 1 másodperczcel megrövidül. Légkörünknek egy 0·1 mm vastag forgó rétegének energiája 2000-szer több, mint a mennyi az előbb említett mágneses viharok alatt elhasználódik.

Azt, hogy hogyan indítja meg a Nap ezt a folyamatot, SCHUSTER a következő módon magyarázza: Az elektromos áram erőssége nemcsak a feszültségkülönbségtől függ, hanem a vezető ellen-

állásától is. A légkör felső ritkított rétegének vezetőképessége elég nagy, tehát áram kering benne. De többféle módját ismerjük, hogyan lehet a gázok vezetőképességét még növelni. Így pl. ha ibolyántúli fénysugárzásnak vagy ionizációnak vagy radioaktív sugarak hatásának vetjük alá a gázokat. A mágneses viharok mindig hirtelen történő kitörése a következő kísérletre emlékeztet: Állítsuk elektromozó gépünk elektródjait olyan messze egymástól, hogy szikra még nem üt át. Ha a szikraköz mellé rádiumot helyezünk, az elektródok között a levegő ionizálódik, a levegő vezetőképessége nagyobb lesz és így hirtelen szikra ugrik át. SCHUSTER felveszi, hogy a Napból olyan hatás indul ki, a mely a levegő vezetőképességét növeli, anélkül hogy ennek módját pontosabban leírná. Az elektromos áram keltése indukció útján magyarázza meg továbbá azt, hogyan használdik fel a Föld forgásának energiája. Az elektromos áramokat olyan mozgás kelti, a mely a földmágneses tér erővonalaira merőleges. Valahányszor a Föld és a légkör nagyobb része egymáshoz képest elmozdulnak, mindig indukálódik olyan erős áram, hogy a magnetométer megérzi. A légköri nyomás napi változása légáramokat okoz, a melyeknek hatása megegyezik a földmágnesség napi változásával. A fel- és leszálló levegőáramok szintén indukálnak a Földön áramokat, még pedig az egyenlítő táján kelet-nyugati irányban, a sarkvidékeken nyugat-keleti irányban. Ha légkörünk határán vezető levegőréteg van és szögsebessége különbözik a Földétől, akkor áram keletkezik. Ha a Nap megváltoztatja a levegő vezetőképességét, akkor az áram erőssége is megváltozik és mágneses vihar támad.

Az előbbiekből annyit mindenesetre láthatunk, hogy a Nap hatása a földmágnességre és a földi áramokra nagyon bonyolult kérdés, melynek megoldásától még messze vagyunk. A SCHUSTER-féle elméletnek a Földre vonatkozó része tapasztalaton épült fel. A Nap hatását a Föld vezetőképességére még nyílt kérdésnek hagyja. A napkorona lényegének magyarázatában sok olyan hatást találunk, a melyet a földmágnességgel kapcsolatba hoztak. Bizonyára csábító, hogy a koronából kiinduló sugarakról, a melyek néhányszor messzebbre látszanak, mint a Nap átmérője, feltegyük, hogy egészen a Földre terjednek és itt elektromos hatásokat okoznak. De bizonyosat erről nem mondhatunk.



Másik kérdés az, hogy a Napból indul-e ki elektromágneses sugárzás. A színeképnek vörösöntúli részét bolométerrel olyan messze vizsgálták, a meddig még egyáltalában lehetett hőhatást észlelni. De semmi lehetetlen nincs abban a föltevésben, hogy a színeképben olyan nagy hullámhosszúságú sugarak is vannak, a melyek elektromágneses hatást gyakorolnak. Elképzelhetjük, hogy minden meleg test elektromágneses hullámokat bocsát ki, bár ennek nem okvetetlenül kell így lenni. Lehet, hogy egyik test sem bocsát ki ilyen sugarakat. Erős ez a sugárzás nem lehet, mert az izzó testek elektromágneses hullámait kísérletileg még nem sikerült kimutatni. Ilyen sugarakat csak elektromos úton tudunk kelteni, t. i. gyorsan váltakozó feszültséggel.

WILSING és SCHEINER igyekeztek a Nap sugárzásában elektromágneses hullámokat kimutatni. Igen érzékeny módszerük hasonlított a drótnélküli telegráfia hullámainak felfogásához. De vizsgálatuk nem járt eredménnyel.

Ez azonban csak azt jelenti, hogy a Napból észrevehető elektromos sugárzás nem jut a Földre, de nem azt, hogy egyáltalában nem indul ki. A Földtől bizonyos magasságban a csekély sűrűség miatt vezető levegőréteg van, a mint SCHUSTER is fölteszi. Jogos az a föltevés, hogy ez a réteg a Nap elektromos sugárzását elnyeli és itt az előbbieken leirt elektromos és mágneses hatások állnak elő. Akkor persze a Föld felületén a sugárzásból már semmit sem veszünk észre. De az is lehet, hogy a Napot olyan gágréteg burkolja, a mely a fotoszféra sugárzását teljesen elnyeli, tehát a Földre egyáltalában nem jut sugárzás. De közelebbi az a gondolat, hogy a Nap elektromágneses sugárzásának elnyelése a felső rétegben az az ok, a mely SCHUSTER elméletében még kérdéses maradt.

*Befejező megjegyzések.* Ebben a fejezetben igyekeztünk összefoglalni azt, a mit a Napról, az egyetlen közelünkben levő állócsillagról, ma tudunk. A vizsgálatok nagy kiterjedése miatt csak olyan képet nyujthattunk, a melyet az egyéni felfogás bizonyára befolyásolt. Minden kutatónak, a ki a Nap vizsgálatával foglalkozik, megvan a maga véleménye, a mely többé-kevésbé eltér másokétól. Az eltérések sokszor alapvetőek: egyesek fölteszik, hogy mindaz, a mit a Napon látnak, valóság; ezek az anyagi napelméletek hívei. Mások mindenben optikai csalódást látnak.

Eddig még senkinek sem sikerült az ellentétet áthidalni és olyan tapasztalaton alapuló képet szerkeszteni, a melyet mindenki elfogadott volna. Belátható időn belül nincs is rá reményünk, ezért ezen a téren minden felfogás egyéni marad. Ha a következőkben megkíséreljük, hogy a Nap fizikájáról összefoglaló képet nyujsunk, ez is csak egyéni vélemény lehet, a mely ellen némelyek bizonyára kifogásokat emelnek. De főbb pontjaiban ez a kép nem új, eddigi nézetekre támaszkodik és így valószínűleg helyesséssel is fog találkozni.

1. A Napot magas hőmérsékletű gázgömbnek kell tekinteni. A gázok nyomása, sűrűsége és hőmérséklete kívülről befelé növekszik. A külső rétegek azért alacsonyabb hőmérsékletűek, mert kisugárzás folytán hőt veszítenek. Ezt a hőt belülről főleg áramlások pótolják. A Nap belsejében uralkodó viszonyokat egyáltalában nem tudjuk elképzelni, mert egyrészt a gázok a magas hőmérséklet folytán kiterjedni igyekeznek, másrészt pedig a hatalmas nyomás nagy sűrűséget idéz elő. A nagy nyomás a túlságosan magas hőmérséklet miatt nem cseppfolyósíthatja a gázokat. De viszont a nagy sűrűség miatt a Napban levő gázokat a belső surlódás és a belőle eredő szívósság tekintetében a földi gázokkal össze nem lehet hasonlítani. Csak bizonyos körülmények között, mint pl. heves robbanások lefolyásából, következtethetünk visszafelé a gázoknak arra az állapotára, a melyben a nagy nyomás alatt voltak, mikor látjuk, hogy a gázok a legerősebb fémedényeket szétvetik, még a legerősebb anyag felületét is megromgálják, horpadásokat és mélyedéseket vájnak beléjük.

Nem ismerjük azokat a törvényeket, melyek szerint a Nap hőmérséklete és gázainak nyomása a külső rétegek felé csökken, a gázgömb forgásának törvényei sem ismeretesek, de föltehetjük, hogy valamennyi réteg majdnem ugyanazon tengely körül forog. Azt sem tudjuk, hogyan oszlanak el a vegyi elemek. Valószínű, hogy nagyobb fajsúlyú gázok a belső rétegekben aránylag nagyobb tömegben fordulnak elő, mint a külsőkben. A kis sűrűségű gázok, mint a hidrogén, hélium, korónium a külső, közvetlenül megfigyelhető rétegekben túlnyomóak. A többi színképelemzéssel kimutatható elem úgyszólván csak közéjük keveredett, a legkülső rétegben pedig egészen hiányzik. A nagyobb sűrűségű anyagok hozzákeveredését a hidrogénhez, héliumhoz és a koró-



niumhoz úgy kell gondolnunk, mint a vízgőzt a levegőhöz, csak sokkal egyenletesebben, mert légkörünkben a viszonyok jóval bonyolultabbak.

Annak a vízgőznek mennyisége, a melyet a levegő magában foglalhat, a hőmérséklettől függ. Ha a levegő bizonyos határon alul lehül, akkor az előbbi összes vízgőz nem maradhat meg benne, egy része lecsapódik. Az apró vízcseppek kis súlyuknál fogva lassan esnek és így lebegő felhőréteg keletkezik.

A Nap középpontjától bizonyos távolságra valamelyik külső rétegben a hőmérséklet már annyira süllyedhetett, hogy valamelyik elem, bizonyára a legnehezebben olvadók egyike, apró cseppekben lecsapódott. A kis cseppek a gömb körül felhőréteg alakjában lebegnek. Azt, hogy milyen elemek csapódnak le, nem tudjuk. Egyáltalában semmit sem tudunk arról, a mi az alsó rétegben történik. Csak azt észlelhetjük, a mi a külső rétegekben, vagy kívülük megy végbe. Az előbb említett felhőréteg a fotoszféra, a Nap látszólagos határfelülete. Átlagos hőmérsékletét körülbelül  $7000^{\circ}$ -nak vehetjük.

2. A fotoszféra-réteg vastagságát nem ismerjük. A rétegben a hidrogén és a többi hozzákeveredett elem sűrűsége a középpont felé folyton nő. Fölül a sűrűség kicsi, ennek megfelelően a lecsapódás is csekély, körülbelül azzal hasonlítható össze, mikor légkörünkben éppen észrevehető fehéres fátyol keletkezik. Tehát a fotoszféra mélyebb rétegeiből is jut még sugárzás kifelé. De ebből a fényből a fotoszférában levő és a közvetlenül fölötte elhelyezkedő gázok azokat a sugarakat, a melyeket maguk is ki tudnak bocsátani, elnyelik. Így keletkeznek a FRAUNHOFER-féle vonalak. Az elnyelő réteg a korong szélén a napfogyatkozás előrehaladtával, mikor már csak keskeny sarló látszik, éppen azokat a világos vonalakat bocsátja ki, a melyek a FRAUNHOFER-féle vonalak helyére esnek. Így keletkezik a flashszínekép. Az elnyelő réteg nem önálló vastagabb réteg, hanem a Nap gömbjének azt a részét határolja, a melyben kevés fémgőz van és a melyben a fotoszféra van. A fotoszféra minden pontja úgy sugároz, mint a fekete test. A fotoszféra nyílásai és mélyedései magukban szintén feketén sugárzóak, mert a belső gázzrétegek nagy vastagsága és sűrűsége fekete sugárzást okoz, sőt sugárzásuk még erősebb, mint a környezeté, mert mélyebb fekvésük miatt nagyobb a hőmérsékletük. A mélyebb

részeknek tehát világosabban kell látszaniok, ha ugyan a sugárzás itt nem szenved jelentékenyebb elnyelést. Még közvetlenül a fotoszféra fölött levő gázréteg is erősen nyeli el a sugárzást, a mint a napkorong fényességének csökkenése a szélek felé mutatja. Az elnyelés a Napon kétféle: szelektív, a mely csak egyes színekre terjed ki, és általános. A szelektív elnyelést gázok okozzák, az általános elnyelés pedig lényegében talán nem is elnyelés, hanem molekuláris fényelhajlás következménye, éppen úgy, mint a mi légkörünkben az ég kék színe.

3. A fotoszféra a Nap gömbjének határán van, vagyis ott, a hol a gázoknak már alig van észrevehető sűrűségük, azért benne végződnek és kezdődnek azok a konvekciós gázáramok, a melyek a meleg gázokat belülről kifelé szállítják, a lehűlt tömeget pedig befelé viszik. Tehát a fotoszférának nem lehet kívül síma felülete, a határoló rétegnek hullámosnak, vagy szemcsésnek kell lennie, mint a mi felhőinken. A fotoszférában a felülettel párhuzamos áramok is vannak, tehát a HELMHOLTZ-féle elmélet szerint a felület érdekessége azoktól a szabálytalan hullámoktól eredhet, a melyek két egymáshoz képest elmozduló, különböző sűrűségű gázréteg határán keletkeznek. A fotoszféra magasabb fekvésű helyei a szemcsézettség világos foltjai, a köztük levő sötét háló mélyebben fekszik, sugárzása nagyobb elnyelést szenved, azért látszik sötétebbnek. A fáklyák olyan részek, a melyek még magasabban fekszenek, mint a szemcsék csúcsai, azért látszanak világosabban. Az erősebb FRAUNHOFER-féle vonalak, és különösen azoknak elszélesedése, a fotoszféra mélyebb, a szemcsék között fekvő helyeinek nagyobb fokú elnyelése miatt keletkeznek.

A foltok a fotoszféra mélyebb helyei. Magvuk a legnagyobb mélyedések helye és ott valószínűleg már nincs is a fotoszférához tartozó anyag, mert semmiféle szerkezetük sem látszik. A Nap belső, magas hőmérsékletű részeiből eredő sugárzást a folt magjában a hidegebb gázok nagyrészt gyengítik, mind a kétféle elnyelés, általános és szelektív előáll, vagy pedig erős fényelhajlás gyengíti a sugárzást.

A félárnyék felülete alacsonyabb fekvésű, mint a környezet, de magasabb, mint a mag sugárzásának alsó forrása. Az elnyelés kisebb, mint a magban, de nagyobb, mint a fotoszférában. Egyes szemcsék olyan magasak lehetnek, mint a foltmentes fotoszférá-



ban, vagy: mint a fotoszféra foltmentes részében. A folt magjában látszó hidak a fotoszférához tartozó tömegek, a melyek körülbelül olyan magasak, mint a fáklyák. Vízszintes áramok ezt a tömeget a folt fölött mozgatják.

A fotoszféra kiemelkedései, tehát a fáklyák és a világosabb szemcsék, nemcsak azért fényesebbek, mert sugárzásuk kisebb elnyelést szenved, hanem a magasabb hőmérséklet miatt is. Ez pedig valószínűleg az emelkedésből származik. A felfelé szálló áramok csúcsa a fáklyák legfényesebb része. Ezt az állítást avval magyarázhatjuk, hogy a spektrohéliografikus fölvételek szerint ezeknek az alakulatoknak felső részeiben a hidrogéntől és némi kalciumtól eredő igen világos színképvonalak látszanak. Ezek a gázok tehát magasabb hőmérsékletűek, mint a fotoszféra mélyebb fekvésű részei, mert különben elnyelés állna elő bennük, hacsak nem volt már előbb fényelnyelés. De pl. a fáklyáknál ez nem történik, mert erős folytonos színképük van. A fáklyák, illetőleg a kalcium-pelyhek főleg a foltok közelében fordulnak elő, itt jelennek meg leginkább a protuberanciák, a melyeknek felfelé való szállása bizonyára összefügg a gázáramokkal.

A protuberanciák hidrogénből, héliumból és némi kalciumból álló áramok. Sűrűségük rendkívül kicsi, úgy hogy néhány ezer km-nyi vastag rétegben körülbelül annyi molekula van, mint a GEISSLER-cső néhány mm-ében. A koronában, a hová a protuberanciák emelkednek, a gázok sűrűsége még igen sokszorta kisebb és minden elképzelhető kis értéken alul van. A koronában levő szilárd, vagy folyékony részecskék valószínűleg meteoroktól erednek, ezeknek eloszlása is rendkívül ritkás. Azt még nem tudjuk, hogy a korona sugárzása tisztán mechanikus, vagy elektromágneses eredetű.

4. A napjelenségek időszakos változásának okát a Nap belsőjében kell keresnünk. Az oka a Nap forgása, melynek folytán a fel- és leszálló, továbbá a sarkoktól és a sarkokhoz áramló tömegek sebessége a környezet sebességétől különbözik. Hasonló oka lehet annak a körülménynek, hogy foltok csak az egyenlítő körüli övben vannak. WILSING és EMDEN vizsgálatai bebizonyították, hogy a különböző sebességek a mélyebb fekvésű rétegek szívósságával és súrlódásával kapcsolatban a felső rétegeket megzavarják, hullámokat és örvényeket keltenek. Ha a Nap nem

forogna, akkor a foltok valószínűleg nem övekben jelennének meg. OPPOLZER szerint a foltokat közvetlenül a fotoszféra fölött lehülő és lefelé áramló tömegek idézik elő.

A jelenségek leírásában a nagy vonásokra szorítkoztunk, mert a részletek magyarázata még nagyon eltérő lehet. De különösen hangsúlyozzuk most is azt, a mit már többször kiemeltünk, hogy meggyőződésünk szerint a Nap összes látható jelenségei óriási kiterjedésűek ugyan, de rendkívül kis sűrűségű, a Nap egész tömegéhez képest elenyészően kevés anyag vesz részt bennük. Ez a tudat valójában lehangoló, mert sok munkát és éleslátást olyan jelenségek kutatására fordítanak, a melyek lényegükben és hatásukban nagyon jelentéktelenek. Még sem szabad, hogy ez a nézet a Nap további buzgó kutatásától visszatartson. A tiszta tudomány szempontjából sohasem a vizsgálat anyagának fontossága döntő, hanem az, hogy a természet megismerésében előrehaladjunk. Azt is meg kell gondolnunk, hogy azok a folyamatok, melyek a Nap külső jelenségeit előidézik és a melyekről a megfigyelések útján közvetve tudomást szerzünk, a Nap belsejében talán hatalmas méretűek.

---





## HETEDIK SZAKASZ.

### HUSZONEGYEDIK FEJEZET.

## Bolygók, holdak, üstökösök, meteorok, állatövi fény.

A KANT-LAPLACE-féle kozmogenetikus felfogás szerint a Nap eredetileg jóval mostani naprendszerünk határain túl terjedt és elképzelhetetlenül hosszú idő alatt fokozatosan mai térfogatára húzódtott össze. Az összehúzódás alatt a bolygók leváltak róla. Mostani távolságuk a Naptól körülbelül akkora, mint a mekkora a Nap gömbjének sugara a leválás idején volt. Ebből két következtést vonhatunk. A külső bolygók a legrégebbiek, a fejlődésnek leghosszabb menetén mentek már át, továbbá olyan elemekből alakultak, a melyek keletkezésük alkalmával a Nap külső rétegeiben voltak. Ezek az elemek tehát valószínűleg átlag kisebb fajsúlyúak, mint a később levált, a Naphoz közelebb levő bolygók elemei. De az égi test fejlődése nemcsak az időtartamtól függ, hanem tömegétől is, tehát nem mondhatjuk, hogy a bolygók viszonylag annál fejlettebbek, mennél messzebb vannak a Naptól. A külső, sokkal nagyobb tömegű bolygók a belső kis bolygókhoz képest fejlődésükben jelentékenyen visszamaradhattak.

A bolygók fizikai állapotát még ma is befolyásolja a Naptól mért távolságuk, mert a Nap sugárzásának erőssége a távolság négyzete szerint fogy. A bolygók a Naptól igen eltérő távolságra vannak, tehát a sugárzás folytán rendkívül nagy mértékben különböző hőt kapnak. A hőmennyiséget pontosan kiszámíthatjuk, de a felmelegedés fokát biztosan még nem mondhatjuk meg, mert ez a bolygó természetétől, főleg pedig légkörének összetételétől is függ. A Föld minden  $\text{cm}^2$ -e percenként 23 gramm-kalóriát kap, ez a hő  $88^\circ$ -kal emeli a felület hőmérsékletét, vagyis a Nap sugárzása nélkül a Föld felszínének közepes



hőmérséklete —  $73^{\circ}\text{C}$  lenne. Ekkor a kisugárzás hőveszteségét a Föld belsejéből a felületre jutó hő kiegyenlítené. Ha azt a nem egészen pontos föltevést használjuk, hogy a hőmennyiség és a felmelegedés között a többi bolygónál ugyanolyan az összefüggés, mint a Földön, akkor olyan számértékekre jutunk, a melyek legalább hozzávetőleg tájékoztatnak arról, mekkora hőhatása van a Napnak a bolygókon.

A következő táblázat 2. oszlopában vannak a bolygóknak a Naptól való közepes távolságai. A 3. oszlop a sugárzott hő mennyiségét mutatja a bolygón grammkalóriában, a 4. oszlop a felmelegedést, ha az előbbi föltevés alapján számítjuk.

Bolygó	Közepes távolsága a Naptól	Sugárzott hő	Felmelegedés
Merkur ... ..	0·39	15·3	$587^{\circ}$
Vénus ... ..	0·72	4·4	$168^{\circ}$
Föld ... ..	1·00	2·3	$88^{\circ}$
Mars ... ..	1·52	1·0	$38^{\circ}$
Jupiter ... ..	5·20	0·09	$3^{\circ}$
Saturnus ... ..	9·54	0·03	$1^{\circ}$
Uranus ... ..	19·18	0·006	$0\cdot2^{\circ}$
Neptunus ... ..	30·05	0·003	$0\cdot1^{\circ}$

Táblázatunk szerint a Nap sugárzása a Merkuron 7-szer akkora felmelegedést okoz, mint a Földön, a Neptunuson ellenben 1000-szer kevesebbet. Hasonló arányú lenne a bolygókon a hőmérsékleti különbség az egyes évszakok közt, a fölület különböző pontjai, továbbá a nappal és éjjel között. A külső bolygókon, a Saturnuson, Uranuson és Neptunuson ilyen különbségeket már észre sem lehetne venni.

1. *Merkur.* A Merkur legközelebb van a Naphoz és az összes bolygók között a legkisebb. Közepes távolsága a Naptól 58 000 000 km, de pályájának nagy excentricitása ( $0\cdot206$ ) miatt ez a távolság jelentékenyen változik. Átmérője 4800 km, sűrűsége — a Földét egységül véve —  $0\cdot80$ , tehát majdnem akkora, mint a legsűrűbb bolygóé, a Földé. Keringésének ideje 88 nap.

Minthogy közel van a Naphoz, mindig csak rövid ideig láthatjuk és akkor is csak közel a horizonhoz, tehát kedvezőtlen viszonyok között. Ezért felületéről keveset tudunk. Foltokat láttak rajta, de ezek nehezen észlelhetők, mert elmosódottak és talán erősségük is változik. SCHIAPARELLI a foltok megfigyeléséből azt következtette, hogy a Merkur tengelye körüli forgásának és keringésének ideje egyenlő, éppen úgy, mint a Holdnál. Ez az ár-apály hatásának végső következménye volna. Egyébiránt tengelyforgásának ügye még nincs végleg eldöntve.

A Merkur színeképét behatóan csak VOGEL vizsgálta. Teljesen egyezik a Nap színeképével, csak légkörünk vízgőzének vonalai látszanak a Merkur színeképében kissé erősebben, mint az egyenlő magasságban megfigyelt állócsillagok színeképében. Az ibolya is valamivel gyöngébb, mint a Nap színeképében. A színekép lefotografált részében a vonalak teljesen megegyeznek a Nap színeképének vonalaival. Mindebből azt következtethetjük, hogy a Merkurnak kevés párát tartalmazó légköre van.

A fotometria biztosabb felvilágosítást nyújt a Merkur fizikai állapotáról, mint a színeképelemzés. Egyébként a kétféle módszer megegyező eredményre vezet. A Merkur látszólagos fényerőssége nagy mértékben ingadozik, egyrészt pályájának nagy excenricitása miatt, de főleg azért, mert távolsága a Földtől erősen változik és mert fázisai vannak, azaz e közben a Hold fényalakját utánozza. MÜLLER megfigyelései szerint fényerőssége a csillagok rendjével mérve 1.1 és —1.2 között ingadozik, vagyis az Aldebaran és a Sirius között. Tehát éjjel nagyon feltűnő égitest lenne, de rendszeren szabad szemmel megerőltetés nélkül nem is láthatjuk; például KOPERNIKUS sok fáradsága ellenére állítólag sohasem látta. Fázisa éppen úgy, mint a Holdé,  $0^\circ$  és  $180^\circ$  közt változik, de az említett nehézségek miatt általában csak  $50^\circ$  és  $120^\circ$  fázisszög között lehetett megfigyelni. Ha fázisszöge  $0^\circ$ , akkor mint sötét korong a Nap előtt elhaladhat. Ez a meglehetősen ritka Merkúr-átvonulás. Ha fázisa az  $50^\circ$  és  $120^\circ$  határain kívül van, akkor teljes napfogyatkozás idején fotometrálni lehet. Így pl. 1900 május 28.-án  $6.8^\circ$  fázisszögnél fotométeresén a Vénussal össze lehetett hasonlítani.

Ha a Merkúr fényerősségét a Naptól mért közepes távolságára és Földtől való közepes egységnyi távolságára vonatkoz-



tatjuk, akkor MÜLLER szerint a fényerősséget különböző fázisoknál a következő egyenletből kapjuk:

$$h = -1.041 + 0.63679(\alpha - 50^0),$$

$h$  a fényerősség nagyságrendben kifejezve,  $\alpha$  pedig a fázisszög. Az egyenlet helyesen adja a  $6.8^0$  fázisnál tett fenntemlített megfigyelést is.

A következő táblázatban a Merkúr fényerősségét találjuk különböző fázisszögnél egyrészt a megfigyelés szerint, másrészt LAMBERT és SEELIGER elmélete szerint. Az utolsó oszlop a Holdra vonatkozó adatokat tartalmazza egyenlő fényerősségre átszámítva.

$\alpha$	Megfigyelés	LAMBERT	SEELIGER	Hold
$50^0$	$-0.90$	$-0.90$	$-0.90$	$-0.90$
$60^0$	$-0.61$	$-0.73$	$-0.76$	$-0.63$
$70^0$	$-0.29$	$-0.54$	$-0.60$	$-0.32$
$80^0$	$+0.04$	$-0.30$	$-0.42$	$+0.13$
$90^0$	$+0.40$	$-0.03$	$-0.22$	$+0.43$
$100^0$	$+0.77$	$+0.29$	$+0.01$	$+0.87$
$110^0$	$+1.17$	$+0.68$	$+0.29$	$+1.36$
$120^0$	$+1.59$	$+1.13$	$+0.61$	$+1.90$

Mint látjuk, egyik elmélet sem vezet a tapasztalattal meg-  
egyező értékekre. Ez azt mutatja, hogy a Merkúr fölszíni viszonyai nem olyanok, mint az elméletek felteszik. Ellenben a Merkúr és a Hold megfigyelt fényerősségei elég jól egyeznek és így ebből azt a fontos következtetést vonhatjuk, hogy ennek a két égi testnek fölszíni viszonyai hasonlóak. Tehát a Merkúr esetleges légköre nem lehet sűrű, mert különben nagyobb eltérések mutatkoznának. Evvel kapcsolatban különösen fontos a Merkúr albedójának kis értéke,  $0.140$ . A Holdé  $0.129$ . A felhők visszaverő képessége sokkal nagyobb; tehát a fény a Merkúron sötét fölületről verődik vissza, úgy mint a Holdon.

Az összes eddigi megfigyelések eredményeként a következőket állapíthatjuk meg: A Merkúr felszíne szilárd és főleg sötét anyagokból alakult. Valószínűleg ritka légkör veszi körül, a mely-

ben némi vízgőz van, de a lecsapódás mindenesetre kis mértékű. A Nap sugárzását, a mely hétszer erősebb, mint a Földön, a légkör majdnem egészen átengedi, ellenben a fölület erősen elnyeli és így a Merkurnak jelentékenyen fel kell melegednie.

2. *Vénus*. A Vénus nagyságban legközelebb van a Földhöz; átmérője 12 100 km. Sűrűsége 0·95, tehát majdnem egészen megegyezik a Földével. Közepes távolsága a Naptól 108 000 000 km, pályájának excentricitása csekély. Keringésének ideje 225 nap.

A Vénus felületén ritkán látszanak foltok, tehát tengelye körüli forgásának idejét nehéz meghatározni. Azelőtt azt hitték, hogy 24 óra alatt fordul meg tengelye körül. Utóbb SCHIAPARELLI sok gondos megfigyelésből arra az eredményre jutott, hogy úgy, mint a Merkurnál, keringésének és körülforgásának ideje megegyezik, még pedig mind a kettő 225 nap. Ezt az eredményt hosszabb ideig igen biztosnak tartották, de újabban kétes lett, mert BELOPOLSKY-nak színeképelemző megfigyelései rövid körülforgási időre utalnak. Ha a Vénus *legnagyobb kitérésében* van, akkor a forgás miatt egyik széle közeledik a Naphoz és egyúttal a Földhöz, míg a másik széle ugyanekkor mind a két égi testtől távolodik. A keleti és nyugati perem sebességének különbsége, melyet a színekép vonalainak eltolódásából meg lehet határozni, tehát négyszerese a valóságos forgássebességnek, ezért 24 órához közel álló forgásidő esetén 2 km-es különbséget még ki lehetne mutatni.

BELOPOLSKY mérései valóban a Vénus egyenlítőjén 0·7 km-es sebességre vezettek, ebből a körülforgás ideje 15—16 óra, tehát még kevesebb, mint a mennyit azelőtt a foltok megfigyeléséből megállapítottak.

De ezek a felette nehéz mérések még kevéssé pontosak, azért csak azt mondhatjuk, hogy a rövid forgásidő valószínűbb, mint a 225 napos. A Vénus forgásidejének ügyét még elintézetlennek kell tekintenünk.

A színeképelemzések szerint a Vénus és a Nap színeképe a fekete vonalakban és valószínűleg a színekép egyes részeinek fényerősségében is egészen megegyezik. SCHEINER és utóbb VOGEL több száz vonalat teljesen megegyezőnek találtak. Ellenben a Vénus színeképében a légköri eredetű sávok, köztük a vízgőz vonalai, kissé erősebben látszanak, tehát a légkör jelenlétét a



Vénuson bebizonyítottnak tekinthetjük. Másféle megfigyelések ezt az eredményt megerősítik. Nagy fázisnál a felület világos és sötét részének határvonala többször elmosódottan látszott, a világosság olyan részekre is kiterjedt, a melyekre közvetlenül nem esett fény. De még döntőbb bizonyíték az a megfigyelés, hogy a mikor a Vénus a Nap előtt elvonul, korongját világos gyűrű övezi. Ez csak a légköri fénytörés következménye lehet. Kis fázisnál pedig megfigyelték, hogy a látható sarló csúcsai a Vénus korongját több mint  $180^0$ -nyi kiterjedésben körül fogják. Ebből a sugártörés nagyságát is meghatározták és kétszer akkorának találták, mint a Föld légkörében.

Minthogy némileg éles és állandó foltok a Vénuson nincsenek, valószínű, hogy tulajdonképpen fölületét nem is látjuk, hanem az egész bolygót sűrű felhőzet burkolja. Ez a sejtésünk bizonyossággá fokozódik azoknak a fotométriái megfigyeléseknek az alapján, a melyek az albedo nagy értékére,  $0.758$ -re vezettek. Ez az érték majdnem akkora, mint a frissen esett hó és a mi felhőink albedoja.

Még egy különös jelenség látszik a Vénuson, a melyet eddig nem tudtak kielégítően megmagyarázni. Az együttállás közelében, a mikor a megvilágított sarló igen keskeny, némelykor a Vénus fölületének sötét része is kissé világosnak látszik, hasonlóan, ha nem is olyan erősen, mint ilyen helyzetben a Hold korongja. Az utóbbinál a magyarázat igen egyszerű: a Hold sötét részére a majdnem egészen megvilágított Földről visszavert fény esik. De a Vénusra ezt a magyarázatot nem alkalmazhatjuk, mert nincs holdja. Azt a magyarázatot is el kell vetnünk, hogy a Föld fénye okozza a jelenséget. Egyszerű számítás azt mutatja, hogy ez a fény, ha a Vénus fölületéről visszaverődött, sokkal gyengébb, semhogy észre lehetne venni. Külső megvilágítás egyáltalában nem idézheti elő ezt a »hamuszínű fényt«, ezért északi fényhez hasonló jelenségre, majd foszforeszkálásra és hasonlókra gondoltak.

Annak szemléltetésére, mennyire elragadhatja az embert képzelete, GRUITHUISEN író és csillagász véleményét idézzük (1830):

»A mikor a hamuszínű fény látszik, a Vénus lakói örömtüzeket gyujtanak. Könnyen tehetik, mert a Vénuson a fák sokkal bujábban teremnek, mint Brazília őserdeiben. Ilyen ünnepeket talán kormányváltozás idején ülhetnek, vagy vallásuk szab meg. A hamuszürke fényt főleg MAYER észlelte 1759-ben és HARDING 1806-ban. A két megfigyelés között 76 Vénus-év, vagy 46 földi

év telt el. Ha ez az időtartam vallásos eredetű, akkor persze az évek számának okát nem mondhatjuk meg. De ha valami Nagy Sándor, vagy Napoleon a Vénuson világalomra tett szert, akkor ebből valószínű következtetést vonhatunk. Ha a rendes életmódot folytató Vénus-lakó életének hosszát 130 évre tesszük, a mi 80 földi évvel egyenlő, akkor az ilyen hódító könnyen uralkodhat 76 Vénus-évig. Én egyáltalában nem akarom ezt a véleményemet valakire ráerőszakolni. Nem is tartok vele igényt szavahihetőségre, ha gondolatom az olvasó képzeletének esetleg jól is esnék azért, mert így a Vénus lakóiról közvetlen és biztos hírt kaptunk volna, ha ugyan föltevésem igaz lenne. Még ha az időszak rövidebbnek is bizonyulna, akkor is lehetne a jelenségnek más oka. Hiszen lehetséges az is, hogy a Vénus lakói az egymásután sűrűn következő nagy ünnepeket ilyen kivilágítással ülik meg. Evvel egyúttal az erdőket is irtanák, új lakható területeket nyernének, ha a lakosság szaporodik. Így el lehetne kerülni a népvándorlásokat és a velük összefüggő háborúkat és a törzsek együtt maradnának.

Az a körülmény, hogy a hamuszínű fény csak bizonyos időben és majdnem kizárólag csak nappal látszik, egyesekben azt a gondolatot keltette, hogy ez a jelenség csak optikai csalódás, de erre viszont valószínű okot nem tudtak találni. Talán középen az igazság, mert esetleg a jelenség egyik része valóság, másik része pedig optikai csalódás következménye. A hamuszürke fényt csak kis fázisnál észlelték, vagyis akkor, a mikor a Vénus fölületének hátulsó oldala majdnem a felénk eső oldal határáig meg van világítva. A sűrű légkör miatt a megvilágítás a beeső fény határán túl terjedhet, ez a szürkületi jelenség. Így az egész peremet világosnak láthatjuk. A megvilágítás nem terjedhet messze a sötét korongra, de könnyen lehetséges, hogy a megfigyelés nehéz volta miatt úgy látjuk, mintha az egész korong világos lenne.

A Vénus távolsága a Földtől nagyon tág határok között változik, az alsó együttállásban 41 000 000 km, a felső együttállásban 257 000 000 km. A Vénus látszólagos átmérője tehát több, mint hatszorosával változik, ezért a fényerősségben igen nagy változásokat kellene látnunk. De ez nem így van, mert a Vénus fázisa, mikor az alsó együttálláshoz közeledik, egyre csökken, a felső együttállás felé pedig növekszik. Ez a két tényező egymást kiegyenlíti. MÜLLER szerint a Vénus fényerőssége, a mikor egyáltalában látható, egy



nagyságrendnél alig valamivel többet változik. Legnagyobb a fényerőssége  $118^0$ -os fázisnál, tehát 36 nappal az alsó együttállás előtt és után. Ekkor fényerőssége nagyságrendben kifejezve  $-4.3$ , ha az Arcturusét zérusnak vesszük. Legkisebb megfigyelhető fényerősségét körülbelül  $20^0$ -os fázisnál éri el és még ekkor is  $-3.3$ . Derült égbolton a Vénus, hacsak nincs túlságosan közel a Nap-hoz, nappal mindig látható. Persze nehéz megtalálni, ha helyét előre pontosan nem tudjuk. De ha a távcsövet az ismeretes helyre beállítottuk, akkor utóbb szabad szemmel is megláthatjuk.

A Vénus fényerőssége, ha ugyanarra az állandó egységnyi távolságra vonatkoztatjuk, csak a fázisszögtől függ, de ettől nagy mértékben. MÜLLER megfigyelései szerint a  $h$  fényerősség és az  $\alpha$  fázisszög összefüggését a következő egyenlet fejezi ki:

$$h = -4.71 + 0.0132\alpha + 0.000\,000\,423\alpha^2.$$

De az így számított érték nem valami jól egyezik az elmélettel, különösen nem a nagyobb fázisszögeknél, ha mindjárt az eltérés nem is akkora, mint a Merkurnál, a hogyan a következő táblázat mutatja:

Fázisszög	$h$	LAMBERT	SEELIGER
$20^0$	$-4.44$	$-4.44$	$-4.44$
$30^0$	$-4.30$	$-4.37$	$-4.36$
$40^0$	$-4.15$	$-4.26$	$-4.26$
$50^0$	$-3.99$	$-4.13$	$-4.14$
$60^0$	$-3.82$	$-3.96$	$-4.00$
$70^0$	$-3.63$	$-3.77$	$-3.84$
$80^0$	$-3.43$	$-3.53$	$-3.66$
$90^0$	$-3.21$	$-3.26$	$-3.46$
$100^0$	$-2.96$	$-2.94$	$-3.23$
$110^0$	$-2.69$	$-2.55$	$-2.95$
$120^0$	$-2.39$	$-2.10$	$-2.63$
$130^0$	$-2.06$	$-1.54$	$-2.25$
$140^0$	$-1.69$	$-0.84$	$-1.78$
$150^0$	$-1.29$	$0.07$	$-1.16$
$160^0$	$-0.85$	$1.37$	$-0.28$

Némi bizonyossággal a Vénus fizikai állapotáról a következőket mondhatjuk: a Vénust sűrű, vízgőzt tartalmazó légkör burkolja. Ebben a légkörben állandó, talán egészen összefüggő felhőzet alakult, a mely teljesen elfedi előlünk a bolygó fölületét. Ezért a napfény erről a felhőzetről erősen verődik vissza. A hamuszürke fényt a Vénus sötét korongján részben valóságosnak kell tekintenünk, mert csak a korong szélén látszik és szürkületi jelenség okozza.

3. *A Hold.* A Hold a bolygókhoz viszonyítva hozzánk igen közel van. Közepes távolsága csak 384 000 km. Felületét szabadon látjuk, semmiféle légkör nem homályosítja el. Ha tekintetbe vesszük, hogy nyugodt levegőben a közvetetlen vagy közvetett (fotografiai) megfigyelésnél akár 1000-szeres nagyítást használhatunk, akkor felületének részeit csak néhány száz km-nyi látszólagos távolságból észlelhetjük. Ezért a Hold felületét elég jól ismerjük, különösen a fotográfia alkalmazása óta. Túlzás nélkül mondhatjuk, hogy a jó holdfotografiák és nagyításaik esztétikai szempontból a legszebbek mindazon képek között, a melyeket a fotográfia alkalmazásával a csillagászatban eddig készíteni tudtak. Megelégedéssel mondhatjuk, hogy a képek szépségével együtt a Hold tanulmányozásának pontossága is nagy mértékben emelkedett és ezen a téren még sokat várhatunk.

Ha helyesen akarjuk értelmezni azt, a mit a Hold felületén látunk, néhány csillagászati adatot kell előrebocsátanunk.

A Hold átmérője valamivel több, mint a Föld átmérőjének  $\frac{1}{4}$  része. Közepes sűrűsége 0.60, tehát jóval kisebb, mint a Földé.

A KANT-LAPLACE-féle elmélet szerint ennek valóban így kell lennie, mert a Hold az akkor még gáznemű Föld külső rétegéről vált le.

Tömege a Föld tömegének  $\frac{1}{81}$  része és így a nehézségi erő a Hold felületén hatszor kisebb, mint a Földön. A nehézségi erőnek éppen ez a kis értéke fontos, ha a Hold hegyeinek keletkezését akarjuk magyarázni.

A Hold szinódikus keringési ideje, vagyis az az idő, a mely két egymásután következő újhold, vagy holdtölte között eltelik, 29.53 nap. Ugyanekkora tengelye körüli forgásának ideje. Ez a sajátságos körülmény, a mely némelyek szerint a Merkurnál



is megvan, az ár-apály következménye. A Földön a tengerjárást legnagyobb részben a Hold vonzása okozza. Fordítva pedig a Föld nagyobb tömege miatt még sokkal jelentékenyebb tengerjárást kelt a Holdon, vagy helyesebben keltett, mikor a Hold folyékony belsejét még aránylag vékony szilárd kéreg fedte. Az ár-hullám a forgó égitesten sűrűdással mozgott, ez pedig a forgás mozgásenergiáját csökkentette és így a forgás lassult. Egyesek szerint az árapály a Föld forgásának idejét is kissé csökkenti. Tehát nagyon hosszú idő múlva a Föld forgásának tartama annyira növekszik, hogy az árkelte égi testre, tehát főleg a Holdra vonatkozó keringésének idejével, vagyis egy hónappal lesz egyenlő. A »hónap« a dagályszűrlődés miatt maga is megnövekedvén, akkor DARWIN G. H. szerint 55 mai napot tesz ki. A Hold sokkal kisebb, ezért ez az állapot jóval rövidebb idő alatt beállott.

A Hold forgás- és keringésideje pontosan megegyezik ugyan, de mert pályája elliptikus, mégsem mutatja mindig pontosan ugyanazt az oldalát a Föld felé, hanem középső helyzete körül periodikusan ingadozik. Ez az úgynevezett optikai libráció, a mely szelenocentrikus hosszúságban legfeljebb  $\pm 8^\circ$ , szélességben  $\pm 7^\circ$ , eredőben  $10^{1/2}^\circ$ . Ehhez járul még a parallaktikus libráció. Ennek az az oka, hogy a Földön egymástól távol álló megfigyelők a Hold más-más pontját látják a holdkorong középpontjául. A parallaktikus libráció  $1^\circ$ -ot tehet, ezért mind a két oldalon  $11^\circ$ -kal többet láthatunk a Hold felületének felénél. De a szélső sávokat már olyan ferdén látjuk, hogy nem sokat ismerhetünk meg belőlük.

A Hold alakja nem lehet pontosan gömb, hanem ellipszoid, melynek nagy tengelye a Föld felé irányul. Alakját az az ár-apályhullám határozza meg, a mely a Földhöz viszonyítva nyugalomba jutott és megmerevedett. Azelőtt azt hitték, hogy a Hold megnyúlása elég jelentékeny. RUTHERFORD első sztereoszkópi képei ezt a véleményt látszólag meglepően igazolták. RUTHERFORD úgy készítette sztereoszkópi képeit, hogy a teliholdat olyan két időpontban fotografálta le, mikor a libráció ellenkező irányú volt. Ezért a sztereoszkópi képben a Hold felületének felénél többet lehetett látni, mintha olyan két pontban fotografálták volna le egyszerre a Holdat, a mely egymástól sokszorta messzebb van, mint a Föld átmérője. A sztereoszkópban úgy látszik, hogy a

Hold erősen megnyúlt a megfigyelő felé, átmérőjének körülbelül kétszeresével. De ez a jelenség tisztán csak látszat, még pedig túlzott sztereoszkópi hatás következménye. Földi tárgyaknál is előidézhetjük ezt a látszatot, ha a két képet nagyobb távolságból készítjük, mint a mekkora szemgolyóink távolságának megfelel. Újabban FRANZ a Hold fotografiáin végzett pontos mérésekből arra az eredményre jutott, hogy a megnyúlás a Hold átmérőjének csak ezredrésze, tehát közvetlenül meg sem lehet figyelni és fizikai szempontból a Holdra nézve sem fontos. Lapultságot a Holdon nem lehetett kimutatni, nem is várhatunk észrevehető mértékben, mert a megmerevedés idején a forgás már nagyon lassú volt.

Már az egyszerű szemlélet is azt mutatja, hogy a Holdnak nem lehet olyan légköre, melynek sűrűsége megközelíti Földünk légkörének sűrűségét. A fölületnek minden alakulata mindig tisztán és élesen látszik, az árnyékok sötétek, majdnem feketék. Nyoma sincs annak, hogy a fény erőssége a szélek felé csökkenne, vagy szürkületi jelenségnek, még csak múló elhomályosodást sem lehetett eddig biztosan látni. A legjobb bizonyítékot a légkör hiánya mellett akkor kapjuk, ha megfigyeljük, hogyan fedí el a Hold a csillagokat. A csillagok a korong szélén hirtelen tűnnek el, vagy jelennek meg. A legpontosabb mérésekkel sem lehetett a csillagok látszólagos helyváltozását a korong szélén kimutatni, a mint ezt a légköri sugártörés előidézte volna. Ilyen mérésekkel meg lehetett állapítani, hogy a Holdon nincs olyan légkör, a

melynek sűrűsége a mienkének  $\frac{1}{2000}$ -része lenne. Tehát észrevehető légköre nincs. De akkor víz sem lehet rajta, még megfagyva sem, mert akkor a légnyomás hiánya miatt igen heves párolgás állana be. Ez azért fontos, mert régebben ugyancsak RUTHERFORD sztereoszkópi képei alapján azt hitték, hogy a Hold fölületének legnagyobb részét jég borítja. A sztereoszkópi képeken ez valóban így látszik. De ez is csalódás, a mely mindig előáll, ha a két kép nem egyforma erős, vagy a képek sok helyen különböző erősségűek. Ekkor sajátságos csillogás keletkezik és azt hisszük, hogy jeget látunk.

A Hold kis tömege és térfogata miatt sokkal gyorsabban hűlt le, mint a Föld, tehát a Hold, bár későbbi eredetű, mint a



Föld, a fejlődésnek aránylag későbbi fokán van, viszonylag sokkal idősebb. Tehát a Hold mostani állapotából némely tekintetben a Föld későbbi állapotára lehet következtetni. Így a mi légkörünk is valamikor majd eltűnik, szétszóródik. Elméletileg ezeket a viszonyokat FRANZ eljárása szerint elég egyszerűen követhetjük.

Minden gáz hőkitérjedési együtthatója egyenlő, még pedig  $\frac{1}{273}$ . Ha tehát a gáz  $0^{\circ}$ -ról  $-1^{\circ}$ -ra lehűl, akkor állandó nyomás mellett térfogata az eredeti érték  $\frac{1}{273}$  részével csökken. Ha a gáz  $-273^{\circ}$ -ra hűl le, akkor egész térfogatát elveszíti. A zérus térfogat ellentmond ugyan az anyag megmaradása elvének, de annyit mindenesetre mondhatunk, hogy a gáz csak addig húzódhat össze, míg az összes molekulák érintkeznek. Ekkor a molekulák megszűnnek mozogni, vagyis megszűnik a hő, ezért a  $-273^{\circ}$  hőmérsékletet abszolút zéruspontnak nevezzük. Az abszolút zéruspontnál magasabb hőmérsékletű gázban a molekulák egyenes irányban mozognak, a míg egymásba, vagy az edény falába nem ütköznek. Ennek a mozgásnak közepes sebessége csak a hőmérséklettől és a levegőre mint egységre vonatkozó relatív sűrűségtől függ, még pedig CLAUSIUS szerint a következő egyszerű módon. Legyen  $\sigma$  a levegőre vonatkozó relatív sűrűség,  $T$  az abszolút hőmérséklet, akkor a molekulák átlagos sebessége:

$$V = 485 \sqrt{\frac{T}{\sigma \cdot 273}} \text{ méter másodpercenként.}$$

A levegőre nézve az előbbi meghatározás szerint  $\sigma = 1$ , a molekulák átlagos sebessége tehát  $0^{\circ}$  hőmérsékleten 485 m másodpercenként.

Ha légkörünk felső határán a hőmérsékletet  $-100^{\circ}$ -nak vesszük, akkor az előbbi egyenlet szerint a hidrogén, hélium, vízgőz és levegő molekuláinak átlagos sebessége 1.47 km, 0.73 km, 0.49 km és 0.39 km másodpercenként. Mennél jobban összenyomtuk a gázt, annál rövidebb úton át mozoghat a molekula, a míg a másik molekulába ütközik. Egy légköri nyomásnál, tehát a Föld fölületén, a levegő molekulájának átlagos szabad úthossza csak körülbelül 0.0001 mm. De légkörünk határán, a hol a levegő sokkal ritkább, a szabad úthossz jóval nagyobb, ezért elképzelhetjük, hogy egyes molekulák úgy elhagyják a Földet, hogy soha-

sem térnek vissza. Csak a sebességtől függ, hogy ez lehetséges-e, vagy nem. A Föld vonzóerejéből kiszámíthatjuk, hogy csak olyan testek léphetnek ki vonzásának köréből, a melyek 11 km-nél nagyobb sebességgel távolodnak. Kisebb sebességű test visszaesik a Földre. A molekuláknak előbb említett sebessége átlagos érték. Az egyes molekulák sebessége kisebb, vagy nagyobb. A nagyobb sebességek persze egyre ritkábbak és pedig nagyon gyorsan ritkulnak. Tehát mennél közelebb van a molekulák átlagos sebessége a 11 km-es sebességhez, annál nagyobb a valószínűsége annak, hogy a molekulák eltávoznak. Ahhoz, hogy a molekula a Föld vonzása alól szabadulhasson, kell, hogy sebessége a hidrogénben 7-szer nagyobb legyen, mint közepes, a héliumban 15-ször, a vízgőzben 22-szer, a levegőben pedig 28-szor. Ebből már megérthetjük, hogy a nagyon elterjedt hidrogénnek és a különben is ritka héliumnak miért van csak nyoma a levegőben.

A Hold tömege kisebb, azért légkörét kevésbé tudta megtartani. A Holdon csak 2·9 km-es sebesség kell ahhoz, hogy a molekula eltávozzék, ez pedig kétszerese sincs a hidrogénmolekula átlagos sebességének és csak hatszorosa a levegőének. Az oxigén és nitrogén tehát a Holdról már olyan könnyen szabadul el, mint a mi légkörünkben a hidrogén. Ezek alapján könnyen beláthatjuk, hogy a Holdnak észrevehető légköre nincs.

Az eddigi kevés spektroszkópi megfigyelés is erre az eredményre vezetett. A Hold és a Nap színképének fekete vonalai teljesen megegyeznek. A Holdon újabb szelektív fényelnyelés nem áll elő, légkörében pedig okvetetlenül keletkeznek.

A Hold a Földet elég jelentékenyen megvilágítja; holdtöltéskor közönséges nyomtatott szöveget jól olvashatunk. Többször összehasonlították a megvilágításnak azt az erősségét, a melyet a Hold és a gyertyafény előidéz. A mérések középértéke szerint a zenitben levő telihold megvilágításának erőssége a Földön akkora, mint a normális gyertyaé 2·7 m távolságra. Ebből az következik, hogy a Hold felületi fényessége csak alig nagyobb, mint a gyertyaé, t. i. 1·09-szor. MÜLLER szerint a telihold fényerőssége 65 200-szor akkora, mint az  $\alpha$  Aurigae csillagé, vagy nagyságrendben kifejezve, a pontszerűnek gondolt Hold — 11·77 rendű volna.



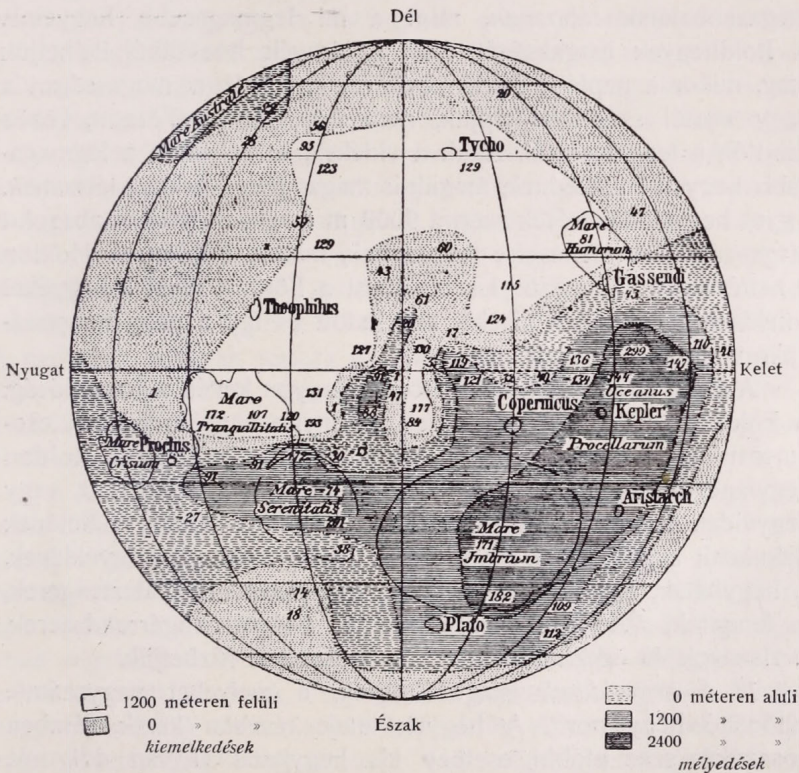
Azt, hogy hogyan függ a Hold fényerőssége a fázistól, alig tudjuk. Csak HERSCHELL J., BOND és ZÖLLNER régebbi megfigyeléseit ismerjük, de ezek egymással nem jól egyeznek. Még kevésbbé egyeznek ezek a megfigyelések a LAMBERT-féle és LOMMEL-SEELIGER-féle elméletek eredményeivel. Az eltérés nagyobb fázisszögnél az 1 nagyságrendet is meghaladja. Ennek oka a Hold felületének érdekessége, a mi jelentékeny árnyékot okoz, továbbá az a körülmény, hogy a Hold fölületének alakulatai, mint látni fogjuk, fotométriái szempontból egymástól nagyon különböznek. A fényerősség függése a fázisszögtől hasonló, mint a Merkurnál. A hasonlóság a csekély albedóra is kiterjed. A Hold albedója 0.13, a Merkure 0.14. Ez is azt bizonyítja, hogy a Holdon éppen úgy, mint a Merkuron, a fény közeteken verődik vissza. Az albedo az agyagmárga és a kvarcz albedója között van, tehát sötét közetre vall.

Térjünk át a Hold fölületének rövid leírására. A Hold fölületén már szabad szemmel láthatunk egyes részleteket, a melyek a Hold sajátos képét alkotják. A világos korongon sok, egymással részben összefüggő folt látszik. Ezeket régóta tengereknek nevezik, a világosabb tájak pedig a világrészek. De újabban ezeknek az elnevezéseknek csak történelmi értéke van, mert a Holdnak nincs légköre, tehát víz sincs rajta és így tengere és szárazföldje sem lehet. A Hold fölületének alakulatait egyáltalában másképp kell megítélni, mint a földieket. Az utóbbiak keletkezésénél a legnagyobb befolyású tényező a víz volt, kiegyenlítő hatása és lerakódásai folytán. A Hold fölületét tisztán vulkáni — helyesebben plutoni — okokból vezethetjük le. Légkör nélkül nincs szétporladás, tehát olyan kristályok, a melyek nálunk már csak barlangokban fordulnak elő, a Hold fölületén még szabadon fekehetnek és némely fotométriái jelenség okául tekinthetők.

Mindez a jelenlegi viszonyokra nézve legnagyobbbrészt helyes. De semmi sem szól az ellen, hogy a Holdnak valamikor volt légköre és hogy volt rajta víz. Tehát fölületén a víz hatásának mutatkoznia kell, ha mindjárt kisebb mértékben is, mint a Földön, mert a víz rövid ideig hatott. Még más okunk is van arra, hogy a Hold sötét foltjait régi tengereknek tekintsük. FRANZ-nak újabban sikerült megmérni néhány pont magasságát a Hold közepes fölszíne felett. Ha a szintvonalakat feltüntető rajzunkat

(166. rajz) újabb mérések is igazolnák, a tengerek valóban mélyebben fekszenek, mint a szárazföldek.

A távcső felfedezése óta sokan foglalkoztak a Hold térképének rajzolásával és ezen a téren sikerült is a tökéletességnek elég



166. rajz.

magas fokára emelkedni. SCHMIDT, atheni csillagász, nagyméretű holdtérképet szerkesztett, a mely igen részletes és a Hold látogatóját könnyen útba igazíthatná. De a Hold fölületének megismerésében mégis a fotográfia alkalmazása a legfontosabb. Különösen a LICK-obszervatórium és a párisi csillagvizsgáló nagy refraktoraival készítettek olyan fotográfiákat, a melyek a legfinomabb részleteket igen élesen mutatják és módot adnak eddig el nem ért pontoságú mérésekre. VIII. táblánk a párisi csillagvizsgáló egyik hold-



fotografiáját mutatja természetes nagyságban. A nagy Équatoréal coudé-val készítették. IX. táblánk az egyik párisi kép nagyítása. A Holdnak kráterekben leggazdagabb vidékét a déli sark közelében ábrázolja.

A Hold hegyei átlag magasabbak, mint a Földön és egyesek magasabbaknak látszanak, mint a mi legmagasabb hegyeink. A holdhegyek magasságát csak az árnyék hosszából ítélni lehetjük meg, mikor a napfény ferdén esik rájuk. Tehát a magasságot a hegy aljától számítva kapjuk, nem úgy, mint a Földön, közös szinttől, a tengerszintől. Azok a vidékek, a melyeken a legmagasabb hegyek emelkednek, maguk is magas fekvésűeknek látszanak. Egyes hegyek a mérések szerint 9000 m magasak, tehát az abszolút magasságok mindenesetre nagyobbak, mint a Földön. A Holdon a nehézségi erő hatszor kisebb, mint a Földön, tehát a hegyeket emelő erők ellenében kisebb erő hatott és így a nagy magasságokon nincs mit csodálkoznunk.

A Hold és a Föld fölülete között nagyon kevés a hasonlóság. A Földön a nagyobb hegységek többnyire heglánczokban csoportosulnak. Ilyenek az Alpok, vagy a Sziklás-hegység. A Holdon heglánczok csak elvétve fordulnak elő, rendszeren hegyhát, vagy hegyvidék a nevük. FRANZ eljárása szerint a Hold felületének alakulatait a következő csoportokba foglalhatjuk: 1. hegyvidékek, 2. hegyhátak, 3. holdkráterek, 4. sánczkráterek, 5. krátertengerek, 6. tengerek, 7. elmerült kráterek, 8. világos sugárrendszerek, 9. rianások és ezekhez még 10. a barázdákat fűzhetjük.

1. A *hegyvidékek* világos részek, a melyeket nagyszámú, különálló hegy borít. A hegyek teteje részben kerek, részben hosszúkas s az utóbbi esetben kis hegyhátakkal van dolgunk, a melyek rendszertelenül mindenféle irányban húzódnak. A hegyek között apró kráterek vannak szétszórva. A hegyvidékek többnyire tengerek közé esnek és ekkor fényességüknél fogva a sötét környezetből különösen élesen válnak ki. A legismeretesebb hegyvidékek délen és nyugaton a nagy Mare Imbriumot veszik körül, nevük Kárpátok, Appeninek és Kaukázus.

2. A *hegyhátak* a hegyvidékektől csak abban különböznek, hogy meghatározott irányban vonulnak. Ezek is a tengereket övezik.

3. A *holdkráterek* csak kerek alakjukban hasonlítanak a földi

kráterekhez, de ezeknél sokkal nagyobbak. A krátert körülvevő sáncz kis emelkedéssel válik ki a környezetből; a lejtő hajlásszöge átlag  $7^0$ . Befelé meredeken esik, átlag  $25^0$  a hajlása, de sokkal meredekebben eső lejtők is vannak. A sáncz gerinczén gyakran meredek csúcsok emelkednek. A sánczok rendesen nagyon fényesek. Ez megegyezik FRANZ-nak avval az általános szabályával, hogy a Hold alakulatai annál fényesebbek, mennél magasabbra emelkednek. A kráter belseje általában meglehetősen sík és kissé mélyebb fekvésű, mint az a környezet, a melyből a kráter kiemelkedik. A nagyobb kráterek belsejének közepén rendesen hegykúp van, a mely többnyire alacsonyabb, mint a sáncz. A legnagyobb kráterek középponti hegységének több csúcsa van. Ilyen pl. a Kopernikus és Gassendi. Az egyetlen kivétel a Wargentín-kráter, a mely majdnem széléig telt, úgy hogy belseje középponti hegy nélkül a környezet színén jóval felülemelkedik. A nagyobb kráterek sáncza gyakran nem egyszerű, hanem több párvonalos gyűrűből áll. A legkisebb krátereknél, a »krátergödröknél«, a sáncz hiányzik, köralakú mélyedések és csak nagyon ferde megvilágításnál a korong szélén látszanak.

A kisebb kráterek száma igen nagy; sűrűn láthatók a nagyobb krátereknek bármelyik részén. Néhol olyan sűrűek, hogy az érintkezés helyén közös sánczuk van. Ekkor kettős kráter a nevük. Némelykor a közös sáncz hiányzik és így két vagy több kráternek belseje közös fölület. A krátereknek igen eltérő nagysága miatt régebben különféle elnevezéseket használtak. A legnagyobbakat sánczolt síkoknak, vagy gyűrűs hegyeknek nevezték. A legnagyobb kráterek átmérője 250 km-t érhet el, ez megfelel Erdély vagy Csehország nagyságának. Már régebben észrevették a hasonlatosságot ezen hegyekkel körülvelt földi területek és a nagy holdkráterek között. De a hasonlóság csak nagyon fölületes. A legkisebb, még éppen látható krátergödrök átmérője 1 km körül van.

4. *Sánczkrátereknek* nevezi FRANZ azokat a kisebb krátereket, a melyek a nagyobbak területén fekszenek. Szerinte »kisebb krátereket« a nagyobbakon belül és kívül egyaránt találhatunk. Azok a kráterek, a melyek a nagyobbak belsejében mint »belső kráterek« láthatók, valószínűleg utóbb keletkeztek, mint a körülvevő nagy kráterek. Keletkezésüknél a nagy kráternek eddig sík



alapja egyik helyen új kráterré alakult. De ha tovább akarnánk menni a következtetésben, hogy t. i. a kisebb kráterek általában később keletkeztek, mint a nagyobbak, akkor azt lehetne ellenvetni, hogy a nagyobb kráterek alakulása előtt a helyükön kisebb kráterek lehettek, a melyek a nagyobbak fejlődésekor elpusztultak. Ilyen pusztulás nyomát persze sohasem lehet megtalálni.

De a kisebb kráterek túlnyomóan a nagyobbak sánczán csoportosulnak, még pedig a gerinczen és a lejtőn egyaránt. És itt sajátságos, eddig észre nem vett szabályosságot találunk: A sánczkráterek mindig áttörik a nagyobb kráterek sánczát és mint önálló alakulatok látszanak. Sohasem fordul elő, hogy a nagyobb kráter sáncza töri át a sánczkrátert, pedig ez éppen úgy lehetséges volna. Tehát ezt a szabályt állíthatjuk fel: A nagyobb kráterek mind előbb keletkeztek, a kisebbek utóbb. Sőt a kráter nagyságából korát is megítélhetjük. Ezért vagy azt kell föltennünk, hogy régebben a krátereket előidéző erők nagyobbak voltak, vagy pedig azt, és ez valószínűbb, hogy a Hold anyaga régebben kevésbé szívós volt és jobban kedvezett nagy kráterek kialakulásának, mint utóbb. Lehet, hogy mind a két körülmény együtt működött.

5. *A krátertengerek* olyan kráterek, a melyeknek belseje sötét, mint a tulajdonképpeni tengernek nevezett terület. Főleg a tengerek északi részén fordulnak elő, még pedig leginkább a Hold nyugati szélén. A holdkorong közepén és a déli sark vidékén egyáltalában nem látszanak. Legismeretesebb közülök a nagy Plato-kráter. Az ide tartozó kráterek némelyike csak részben sötét, még pedig a kráter belsejének szélén, a közepe világos.

6. *A tengerek* nagy kiterjedésű, mélyen fekvő sík fölületek, a melyek szabad szemmel is láthatók. Részben, de nem teljesen hegységek övezik. Alakjuk szabálytalan. Középponti hegyek nincsenek rajtuk és ezért nem gondolhatunk arra, hogy a krátertengerekhez hasonlóan keletkeztek. A tengerek nem egyformán sötétek. Úgy látszik, hogy különféle gyenge színezésük is van. Spektrálfotometriai megfigyeléseket erre vonatkozóan még nem végeztek. Kráterek a tengerekben is vannak, még igen nagyok is, de sokkal ritkábban, mint a Hold fényes részein.

A megvilágítás szélén, a hol kisebb szintkülönbségeket meg lehet látni, észrevehetjük, hogy a tengerek felülete nem egészen sík. Terraszszerű fokozatok látszanak, néhol párhuzamos menetben.

7. *Az elsüllyedt kráterek* igen érdekes alakulatok, a melyeket LOEWY és PUISEUX fedeztek fel. A tengerek szélén találhatók mint öblös bemélyedések. A sáncznak a szárazföld felé eső része még megvan, de a tengerbe eső része eltűnt. Igen elterjedtek és mindenféle nagyságuk lehet. A legnagyobb, a Sinus Iridum, a Mare Iridum északkeleti partján emelkedik, átmérője 300 km-nél nagyobb. Az eredeti kráter tehát valamennyi között a legnagyobb volt.

8. *A fényes sugárrendszerek* a Hold felületének valamennyi alakulata között a legkülönösebbek és legnehezebben magyarázhatók. Különösen holdtöltekor látszanak jól, még szabad szemmel is, főleg a legnagyobb, a Tycho-krátert körülvevő sugárrendszer. Fényes, kráterből kiinduló és többnyire egyenes sávok, hegyeken-völgyeken akadálytalanul áthatolnak, néha rendkívül hosszúak, így a Tychonál 60°-nyi kiterjedésűek. Árnyékuknak nyoma sincs, a librációnak semmiféle változásánál nincsenek elfedve. Tehát sem emelkedések, sem mélyedések, hanem csak olyan helyek, a melyek a napfényt, főleg kis beesésszögnél erősebben verik vissza, mint a környezet.

Némely rendszer sugarai mindjárt a sáncznál kezdődnek, egymást részben elfedik úgy, hogy a sánczot látszólag fényes gyűrű övezi. A sáncz közelében 15 km-nyi szélesek is lehetnek, de ékben végződnek. Másutt, mint a Tychonál, a sáncztól csak bizonyos távolságra kezdődnek úgy, hogy a sáncz kerülete sötétén látszik. A sugarak többnyire legnagyobb körök irányában haladnak, de azért gyakran találunk görbült sugarakat is úgy, hogy gyakran egymás fölött vonulnak és bonyolult háló-alakjuk van. Némelyik élesen határolt, a másik elmosódott. Fényerősségük általában a krátertől mért távolság növekedtével csökken, de ebben is vannak kivételek. A következő táblázatban a legnagyobb sugárrendszereket és sugaraik átlagos hosszát találjuk km-ben:



A kráter	A sugarak átlagos hossza	A kráter	A sugarak átlagos hossza
Tycho	1800	Kopernikus	600
Stevinus <i>a</i>	1200	Byrgius <i>A</i>	500
Furnerius <i>a</i>	1200	Anaxagoras	500
Geminus <i>C</i>	900	Kepler	300
Thales	800	Proclus	300
Olbers <i>a</i>	600		

A Tychonál úgy látszik, hogy az egyik sugár majdnem 4000 km-nyi hosszú. A sugarak száma az egyes rendszerekben nagyon eltérő. A Tychonál 100 sugarat számlálhatunk meg. A holdkorong keleti szélén olyan sugarakat találtak, a melyek a Hold hátulso oldalán levő kráterből indulnak ki. Így a kráter helyét meg lehetett határozni a nélkül, hogy magát a krátert látni lehetne.

A Hold területén különálló fényes foltok is látszanak, fényerősségben és színben a sugarakhoz hasonlóak, a melyek szintén sem emelkedések, sem mélyedések.

9. A *rianások* hosszan húzódó, élesen határolt, szakadékhoz hasonló mélyedések, a melyek gyakran kráterből indulnak ki. Vékony fekete vonaloknak látszanak. Hosszuk gyakran jelentékeny; a könnyen látható Ariadäus-rianás körülbelül 300 km hosszú. A SCHMIDT-féle holdtérképen 425 rianás van feltüntetve.

10. A *barázdák* sajátyszerű, szintén szakadékhoz hasonló alakulatok, a melyek azonban sokkal szélesebbek, mint a rianások és mindig egyenesek.

A legismertebb barázda az Alpokat szeli át teljes szélességükben az összes hegyeken és völgyeken át. A szakadék a hegység közepén a legmélyebb, vagyis egyenesen áttöri a hegytömeget, tekintet nélkül a magasságára. A Hold fölületének kráterben gazdag vidékein gyakran sűrűn egymás mellett hasonló alakú barázdákat találunk, de jóval kisebbeket mint a mekkora az Alpokon át vonuló barázda. Érdekes, hogy a barázdák mind párhuzamosak, tehát bizonyára valahogyan összefüggnek.

A Hold alakulatait az eddigiekben röviden leírtuk, most fényerősségükre akarunk rátérni. A külső alakon kívül még csak ezt

vizsgálhatjuk. PICKERING az egyes részek fényerősségét hold-tölte idején összehasonlította a telihold korongjának fényerősségével. Így a fényerősséget jegyzékbe foglalta. A legerősebb fényű helynek, az Aristarchos-kráter középponti hegyének erősségét 100-nak vette. Jegyzékének kivonata a következő:

Tárgy	Fény- erősség	Tárgy	Fény- erősség
Aristarchos középponti csúcsa... ..	100	Picard sánca ... ..	12
Aristarchos belső fölülete	100	Kepler környezete ... ..	10
Proclus sánca ... ..	76	Sinus Medii... ..	8
Censorinus sánca... ..	69	Archimedes környezete	8
Dyonisius       «     ... ..	53	Ptolemäus belseje ... ..	7
Bode               «     ... ..	40	Bessel sánca ... ..	4
Mösting A       «     ... ..	36	Archimedes belseje ...	2
Kepler           «     ... ..	25	Flamsteed       «     ... ..	1
Kopernikus       «     ... ..	21	Boscovich       «     ... ..	0.6

Látjuk, hogy a Hold felületének különböző helyein a visszavert fény erőssége több, mint százszorosán változik. Nem valószínű, hogy ez pusztán az albedo eltérő értéke miatt van így. A legfényesebb helyeken a fény bizonyára csillogó, lávához hasonló fölületen tükröződik. Némelyik síma fölületű mélyedés esetleg össze is gyűjti a fényt a gyújtópontban, akár csak a homorú tükör.

Igen érdekes az a kérdés, a melyet már többször megvitattak, hogy a Hold felülete még most is változik-e. Olyan szétporladás, a milyent a Földön a víz okoz, mikor a kőzetekbe behatol és itt utóbb megfagy, a Holdon nem lehetséges, mert nincs légkör. De ez a változás nagyon lassú is. Az alatt az 50 év alatt, a mely a Hold felületének első részletes ábrázolása óta eltelt, ilyen változást nem vehetünk észre. De másik, lassan romboló tényező a Holdon sokkal nagyobb mértékben működik, mint a Földön. A Nap sugárzását a Holdon légkör nem gyengíti, ezért a hőmérséklet emelkedése a 14 napos sugárzás alatt bizonyára jelentékeny, 80—100°-ot is kitehet. Viszont az ugyanolyan hosszú éjjel folyamán légkör nem hátráltatja a Hold felületének



kisugárzását, tehát a Hold majdnem a világegyetem hőmérsékletére hűl le. Ez az időszakosan visszatérő, talán 200–300°-os hőmérsékleti változás a kőzetekre romboló hatással van. A hatás nagyságát nem ítéldhetjük meg. A felületet változtató harmadik ok a vulkáni kitörés. A Földön a kiömlő láva és a hamueső még ma is annyira változtatja a felületet, hogy a Holdról észre lehetne venni. Különösen feltűnő volna maga a kitörés a velejáró hatalmas felhőgomolyagokkal. De a míg közvetetlen megfigyelésünk nincs, addig a Holdon a működő tűzhányókat nagyon valószínűtlennek kell tartanunk. Hiszen a Hold viszonylagos kora sokkal nagyobb, mint a Földé, tehát szilárd kérge valószínűleg jóval vastagabb. Továbbá vize sincs, pedig ennek a vulkáni kitöréseknél nagy szerepe van.

HERSCHEL W. óta a megfigyelők többféle, sokszor nem éppen jelentéktelen változást jeleztek, de ezeket a megfigyeléseket csalódásoknak kell tekintenünk. Azok az optikai változások, a melyek a különböző megvilágítás miatt és a Hold szélén a libráció miatt keletkeznek, sokkal nagyobbak, mint rendesen gondolják és tapasztalt észlelőket is megtéveszthetnek. FRANZ jogosan csak akkor tekinti a változást bebizonyítottnak, ha fotografiák igazolják. De még így is óvatossá kell lenni, mert pl. megtörtént, hogy a Hold felületének egyik részéről két sztereoszkópi képet készítettek és úgy látszott, mintha a két fölvetel között hegyomlás történt volna a Holdon. Pedig csak a lemez volt hibás. Későbbi képeken a hegyomlásnak nyoma sem volt. Eddig valamilyen változást a Hold felületén csak némileg biztosan sem lehetett megállapítani.

Azt a fontos kérdést kell most tárgyalnunk, hogyan keletkeztek a Hold felületének alakulatai. Erre nehéz felelni, nehezebb, mint a Föld alakulatait megmagyarázni. Pedig ezeket egészen más segédeszközökkel vizsgálhatjuk, míg a Holdon csak a külső alakot és visszaverő képességet figyelhetjük meg. Más tekintetben meg a Holdon egyszerűbbek a viszonyok, mert a Föld kérgében az első vulkáni termékek megmerevedett részéből már nem sok maradt meg. A későbbi, főleg a víz hatásán alapuló geológiai alakulatok mindenesetre lényegesen megváltoztatták az eredeti alakulatokat. A Holdon aránylag sokkal rövidebb ideig volt víz, tehát a változás bizonyára kisebb. Ki tudja, hogy a Föld felülete vala-

mikor nem hasonlított-e a Hold mai felületéhez? Vajjon az elsüllyedt kráterek nem azt mutatják-e, hogy az összes kráterek eltűntek volna, ha a víz sokkal tovább működött volna, mint a hogyan a Földön eltűntek? Föltéve persze, hogy eredetileg is megvoltak.

A Hold fölületén a kráterek a maguk igen egységes kialakulásában túlnyomóak. Azért nem csodálkozhatunk azon, hogy a Hold felületét magyarázó elméletek mind a kráterek keletkezéséből indulnak ki. Közeli, szinte természetes gondolat volt a Hold krátereit a Földiekkel összehasonlítani, ezért először egyszerűen föltették, hogy a Hold kráterei kialudt vulkánok. Ennek helytelensége egészen világos. A mi vulkánjainknál a hegy a lényeges, ez a vulkáni tevékenységnek első terméke, a tulajdonképpeni kráternyílás pedig aránylag kicsi. Sőt nemcsak aránylag kicsi, hanem magábanvéve is. A leghatalmasabb kráterek nyílása csak néhány km, a Holdon pedig ugyanannyi száz km, ezért az előbbi föltevést el kell vetnünk.

Másik gyakran használt föltevés az, hogy a kráterek nyílását lehulló meteorok idézték elő akkor, mikor a szilárd kéreg még olyan vékony volt, hogy a meteorok áttörhették. Ez a föltevés is teljesen tarthatatlan. Mert ha a Holdat annyi temérdek sok meteor érte volna és a meteorok mérete a km törtrésze és több száz km között változott volna, akkor ez a jelenség a Földön még nagyobb mértékben lett volna meg. De a történelmi időben ilyen nagy meteorok nem hullottak a Földre, annak sincs semmi nyoma, hogy ez geológiai korszakokkal előbb megtörtént volna. Ezenfölül a kráterek óriási halmozódását a déli sark közelében sem lehetne ilyen módon megmagyarázni.

Megkísérelték azt is, hogy mesterségesen állítsanak elő kráter-szerű alakulatokat. Abból a föltevésből indultak ki, hogy a krátereket a Hold belsejéből felszállott és a felületen szétpattant hatalmas gázbuborékok okozták. Fújjunk gőzöket nyúlós anyagba, a mely közel van a megmerevedéshez, pl. gipszbe, akkor keletkeznek ugyan köralakú mélyedések, de ezek majdnem félgömbalakúak és egyáltalában nem hasonlítanak a lapos holdkráterekhez.

Mellőzve a sok egyéb föltevést, térjünk át mindjárt az EBERT-félére, a mely nézetünk szerint leginkább valószínű, sőt talán éppen helyes is. EBERT a jellegzetes holdkrátereknek hű mását a



következő eljárással kapta: lapos fémtányérra kellő tömegű WOOD-féle fémötvözetet öntött (olvadáspontja  $68^{\circ}$ ). A tányérnak csak közepét melegítette alája vezetett vízgőzzel. Az ötvény először a szélén aludt meg, tehát középen folyékony rész maradt. Ennek fölületét EBERT gyűrűsen hullámszásba hozta. A folyékony fém gyűrűs hulláma nekicsapódott a megszilárdult gyűrűnek, részben föléje ömlött és megaludt. Így a folyékony közép körül lassan

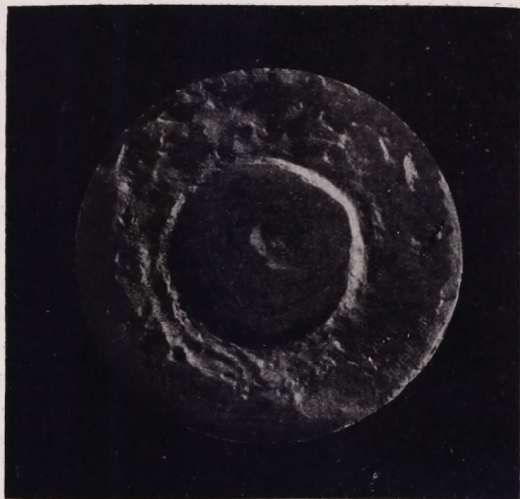


167. rajz.

sáncz keletkezett. A sáncz egyes helyein fém leolvadt, másutt megaludt fémmel gyarapodott, míg végül köralakú lett. A sáncz belső oldalán  $30^{\circ}$ — $40^{\circ}$  hajlású lejtő keletkezett, ellenben a külső oldalon, ahol a folyékony fém átömlött, a hajlás  $3$ — $4^{\circ}$  volt. A belső tányéralakú fölület az anyagvesztés miatt folyton mélyebb lett. A középben emelkedő kúp-alakú hegység, vagy a középponti kráter a mozgató erőnek utolsó megnyilvánulása. Ha a mozgató erő változik is, az így kapott mesterséges alakulatokon a lejtő hajlása, a mélyedés és kiemelkedés nagysága mindenütt állandó. A Hold hegységeire pedig éppen ez jellemző. Ha a mozgató erő csak időnként működik, akkor gyűrűalakú zárt mélyedések keletkeznek, melyeket párhuzamosan vonuló, vagy terraszszerű sánczok vesznek körül. Ezt látjuk a legtöbb nagy holdhegységben.

A 167. és 168. kép EBERT két mesterséges kráterének fotográfiája. Annyira meglepően hasonlítanak a holdkráterekhez, hogy első tekintetre bizonyára mindenki valószínűs holdkráterek fotográfiájának fogja tartani, vagy legalább is holdkráter után készült természethű minta képeinek. De arra nem is gondol, hogy az egyes

részletek mind a kísérlet folyamán tisztára véletlenül keletkeztek. Nagyon közeli és éppen nem erőltetett gondolat, hogy a holdkráterek alakulását hasonló jelenségnek tulajdonítsuk. Mikor a Hold szilárd kérge még nagyon vékony volt, kitörések, vagy hasonló okok sok helyen gyakran áttörhették. A hevenyfolyós anyagoknak szükségképpen hullámzó mozgását föltörő gázok okozhatták, de valószínűbb, hogy e mozgás állandó és rendszeres jelenléte a Hold erős tengerjárásából állt elő abban az időben, a mikor a Hold keringésének és forgásának ideje még nem volt egyenlő. Men-nél vékonyabb volt a kéreg, annál könnyebben keletkezhettek nagy nyílások. EBERT föltevése szerint tehát a nagy kráterek korábbiak, mint a kicsinyek. Ugyanerre a következtetésre jutotunk a sánczkráterek alakjának elemzésénél.



168. rajz.

A Hold felületének legjellemzőbb alakulatát, a krátert, tehát már megmagyaráztuk. Említettük, hogy a kráterek a Földön azért nem láthatók, mert a víz sokkal hosszabb ideig hatott.

A sötét, tengernek nevezett foltok, véleményünk szerint, valóban tengerek voltak. Ezt a föltevést leginkább a félig elmerült kráterek támogatják, mert mindig a kráternek a tenger felé eső sánczából tűnt el egy része. Azt már nem tudjuk eldönteni, vajjon a hiányzó rész súlyánál fogva valóban elmerült-e, vagy a víz mosta-e el, vagy lerakódások befedték-e. Ha fölteszszük, hogy voltak tengerek, akkor az előbbi magyarázatot csak az nehezíti meg, hogy a tengerekben is találunk krátereket. Mert hiszen a krátereknek lényegükben előbb kellett keletkezniök, mint a tenge-



reknek. Ezeket a krátereket tehát a tenger nem pusztította el, mint a részben elmerült krátereket.

A krátereken kívül a legjellemzőbb, a Földön szintén hiányzó alakulatok a Hold felületén a kráterekből kiinduló világos sugárrendszerek. Főtulajdonságuk, hogy a fölszíni alakzatokat nem változtatják meg, csak visszaverő képességét. NASMYTH és CARPENTER szerint a sugarak úgy keletkeztek, hogy a szilárd kéreg a belső nyomás következtében megrepedt. Ha üveggömböt belső nyomással megrepesztünk, akkor gyakran úgy törik el, hogy egy pontból különböző irányban egyenes vonalú repedések indulnak ki. De ez tisztára külső hasonlatosság. A repedéseken kiömlő belső folyékony anyagból kiemelkedéseknek kellett keletkezniök, de ilyeneket nem látunk. LOEWY és PUISEUX fölteszik, hogy a sugarak vulkáni kitörések hamuesőjének maradványai abból az időből, mikor a Holdnak még volt légköre és benne áramok, illetve szelek működtek. Mindegyik sugár egy-egy olyan kitörésből ered, a mikor a szélnek meghatározott iránya volt. Ez a föltevés elég csábító, de nincsen minden tekintetben összhangzásban a sugarak sajátos alakulásával. Nem lehet vele megmagyarázni, miért kezdődnek egyes sugarak, mint pl. a Tychonál, a krátertől jókora távolságban. A földi vulkáni kitöréseknél azt látjuk, hogy a hamueső a távolsággal mind nagyobb területre szétszóródva fokozatosan eltűnik, a Holdon a sugarak mindinkább vékonyodnak és kiékesednek.

FRANZ szerint a sugarakat a kráterből kiömlő kristályosodó folyadék hozta létre. A folyadék hegyen-völgyön át ömlött, észrevehető emelkedést nem okozott, de a kristályosodás után, helyén a visszaverődés sokkal erősebb. Minthogy légkör nem volt, a kristályok sem porladtak szét, a felület állandóan egyforma maradt. Arra már nem terjed ki a magyarázat, miért ömlött a folyadék egészen keskeny sávokban. A LOEWY-PUISEUX-féle magyarázat, a mely légkört tételez fel uralkodó szelekkel, még mindig valószínűbbnek tekinthető.

Szóval kielégítő magyarázatunk a fényes sugarakra még nincs.

Hasonló eredményre jutunk a rianásoknál és barázdáknál. Azelőtt azt hitték, hogy a rianásokat könnyen meg lehet magyarázni. Úgy gondolták, hogy a fölület megmerevedésekor keletkeztek az anyag összehúzódása folytán, éppen úgy, mint a Földön a kiszáradt pocsolya alján, vagy a megszáradt keményítőben. De

ilyenkor a finom repedésekből egész hálózat támad. Az anyag nem elég összetartó arra, hogy az összehúzódásnál széles, egymástól eltávolodó repedésekben válják szét. De a Hold rianásai km-nyi szélesek és különállóak. Hegyeken és völgyeken vonulnak át, hálóról pedig szó sincs. Véleményem szerint leginkább hasonlítanak a kanonjainkhoz, fensíkjaink mély és éles metszésű folyóvölgyeihez, a mint legtipikusabb alakjukban Észak-Amerikában a Coloradonál látszanak. De nem mernők határozottan állítani, hogy a rianások hasonlóképpen keletkeznek.

Még rejtélyesebbek a barázdák, melyekhez hasonlót a Földön már éppenséggel nem találunk. LOEWY és PUISEUX szerint a Holdnak eredetileg folyékony felületén a megmerevedett anyagból rögök keletkeztek, a melyeket az áramok tovasodortak. Ezek egymásba ütköztek, mint folyóinkon a jégtömbök. Ezáltal szélük egyenesre csiszolódott és itt összefagytak, mikor a Hold felülete fokozatosan megmerevedett.

De a mi jégtömbjeink széle az ütközések folytán nem lesz egyenes, hanem legömbölyödik. Az előbbi magyarázat azt a körülményt sem világítja meg, hogy a barázdák csak átszelik a Hold felületének alakulatait, de kölcsönös eltolódásokat, vagy áthelyezkedéseket nem látunk. A barázdák csak akkor keletkezhettek, mikor az általános felszínalakulás már megvolt. És mi okozza a barázdák párvonalasságát, továbbá azt a körülményt, hogy a barázdák alja síknak látszik és nem követi a felület görbülségét?

Van más föltevés, mely a redők alakját tagadhatatlanul jobban megmagyarázza, bár alapjában véve nagyon valószínűtlen. Eszerint valóságos barázdák ezek, mint az eke barázdái, a melyeket keményebb tárgy puhább talajban vágott. A barázdát szántó anyag itt csak nagy kiterjedésű, a Hold felett elsurranó meteor lehetett. Ilyen alakban már többször hangoztatták ezt a föltevést. De nem tekintve belső valószínűtlenségét, pontosabb vizsgálatnál a tapasztalattal sincs összhangzásban. A súroló meteor bajosan metsz ki egyenes irányú, sima barázdát. Még ha nagyon kis szög alatt ütközik is, a hatalmas hőfejlődés miatt robbanásszerű hatása lesz, de nem vág ki egyforma szélességű sávot hanem folyton szélesedő csíkot és oldalt is szétroncsolja a fölületet.

Végeredményben a Hold alakulatainak keletkezéséről tehát nagyon keveset tudunk, bár nagyon részletesen ismereteseek. Jó



volna, ha a csillagászok helyett a geológusok kezdenének a Hold alakulataival foglalkozni.

Röviden meg kell még emlékeznünk arról, milyen hatása van a Holdnak Földünkre. A Hold vonzása folytán a tengerszín magassága, mint tudjuk, jelentékenyen változik. Ez a tengerjárás. Ezt a mechanikai és matematikai kérdést teljesen tisztázták, de mint ilyen nem tartozik a mi körünkbe. Légkörünkben is kell a Holdnak ilyen ár-apályszerű jelenséget keltenie. De ez olyan csekély, hogy a legpontosabb mérésekkel is alig lehet kimutatni. Mégis nagyon elterjedt még ma is a műveltebbek körében az a vélemény, hogy a Hold időjárásunkat befolyásolja és úgy látszik, hogy ezt a tévhitet nem lehet kiirtani. Összes exakt kutatásaink azt mutatják, hogy a Holdnak ilyen hatása nincs, mégis igen szilárdan hiszik, hogy időjárásunk a Hold fényváltozásaival összefügg.

A Holdról hőszugárzás indul ki, részben a napsugarak visszaverődése folytán, részben pedig azért, mert a Hold felmelegszik és így önállóan sugárzó lesz. De a sugárzás hatása Földünkön oly csekély, hogy a legérzékenyebb műszerekkel nagyon gondos megfigyeléssel csak éppen észrevenni lehet. Időjárásunkat tehát nem befolyásolhatja.

HERSCHEL azt hitte, hogy a felhőket szétoszlatja úgy, hogy a felkelő telihold az égboltot derültté és csillagászati megfigyelésekre alkalmassá teszi. A statisztikai adatgyűjtés ezt nem igazolja. A jelenség érzéki csalódás, melynek az az oka, hogy az égbolt derültsége holdtól idején legjobban feltűnik. Talán a földmágnéségre van a Holdnak csekély, máig még meg nem magyarázható hatása. Minden egyéb képzelet és babona. Csak az emberek kedélyét befolyásolja a Hold tagadhatatlanul és könnyen érthető okból.

4. A Mars bolygó átlag 226 000 000 km távolságban kering a Nap körül, vagyis  $1\frac{1}{2}$ -szer messzebb, mint a Föld. Átmérője 6770 km, tehát csak körülbelül fele a Földének. Közepes sűrűsége 0,81, tehát tömege 0,12 része a Földének. A Nap sugárzása fele akkora sincs, mint nálunk. A Mars feltétlenül jóval régebbi bolygó lévén, mint a Föld, de azonkívül kis tömege miatt is hőmérséklete mindenesetre alacsonyabb, mint a Földé, de hogy mennyivel, azt nem tudjuk meghatározni.

A Mars felületén mindig ugyanazokat a részleteket észleljük, tehát valóban felületét látjuk. Csak ritkán és részben fedik el

felhők, ezért a Nap sugárzásának legnagyobb része a Mars felszínéig hatol. De észleltek már homályos foltokat is, a sarkok vidékén elterülő hómezők kiterjedése is szorosan összefügg az évszakokkal, tehát kétségtelenül van vízpáratartalmú légköre.

Döntőek erre nézve a színképelemző megfigyelések. Összehasonlították a Mars és Holdunk színképét, mikor a két égitest egyenlő magasságban volt. HUGGINS, VOGEL, MAUNDER első ilyen megfigyelései azt mutatták, hogy egyes légköri eredetű vonalak a Mars színképében észrevehetően erősebbek, mint a Hold színképében. A Hold megfigyelésénél az ilyen vonalak tisztán a Föld légkörében keletkeznek. Fontos, hogy az ilyen megfigyeléseket mind a két égitesten a horizont felett lehetőleg nagy magasságban végezzék, mert alacsonyabb állásuk mellett a vonalak már olyan erősek, hogy további kisebbfokú erősödést már nem lehet felismerni.

Az ilyen megfigyeléseknél azonkívül kis szórású spektroszkópot kell használni. Nagyobb színszórásnál a légköri sávok vonalaikra bomlanak fel, ezeknek erősödését pedig nehéz megállapítani. Egyes sávokban nem annyira a vonalak erősödnek, hanem a vonalak köze elsötétül, ezért a felbontatlan sáv sötétítését könnyebb megfigyelni. Így lehet megmagyarázni azt a fel tűnő jelenséget, hogy CAMPBELL a LICK-csillagvizsgáló nagy refraktorával és nagyobb spektroszkópjával a Mars légkörét nem tudta kimutatni. VOGEL, WILSING és SCHEINER újabban határozottan megfigyelték, hogy a légköri sávok a Mars színképében erősödnek, tehát a Mars légköre és ennek páratartalma iránt már semmi kétségünk sem lehet. De a fényelnyelés csak kevésbé fokozódik. Ebből és az említett jelenségből azt látjuk, hogy a Marson felhők sokkal ritkábban keletkeznek, mint a Földön és hogy a Mars légköre kevésbé sűrű és kevesebb vízgőz van benne.

A mint várni lehetett, a Mars színképének fotografiái teljesen megegyeznek a Nap színképével. HUGGINS a Mars színképének kék és ibolya színében erős sávokat észlelt és a Mars vörös színének okát bennük kereste. Az előbbieket szerint azonban ezek a vonalcsoportok a Nap színképének FRAUNHOFER-féle vonalai.

A vörös színezet okát valószínűleg spektrofotometriai úton lehet majd megtalálni, de úgy látszik, ilyen megfigyeléseket eddig



még nem végeztek elég behatóan. A Mars vörös színét rendszeren a következő módon magyarázzák: Mi a légkörünket kéknek látjuk, tehát kívülről a kiegészítő színben, narancssárgának látszanék, mint a Mars. Ebből tovább a Mars és Föld légkörének hasonlósága következne. De ez az okoskodás egészen hibás. Mert légkörünk kék színe nem elnyelés folytán keletkezik, hanem a levegőmolekulákon szenvedett fényelhajlás miatt. Az elhajlított fényben a kék és az ibolya a legerősebb. A fény elhajlítása minden irányban előáll. Mi a légkört világoskéknek látjuk a teljesen sötét égbolt, vagy távoli sötét hegyek irányában. A visszavert kék szín természetesen hiányzik abban a fényben, a mely légkörünkön áthaladt, tehát abban is, a melyet a Föld fölülete visszaver. De a hiányzó rész az összes fényhez képest elenyésző csekély, azonkívül az összfényhez részben a visszavert kék fény is még hozzájárul. Ha tehát valaki a Földet kívülről nézi, a Föld színét a légkörben előálló visszaverődések észrevehetően nem befolyásolják. Még inkább érvényes ez az okoskodás a Marsnak semmiesetre sem sűrűbb légkörére. A Mars vörös színét tehát nem légköre okozza, hanem felületének ilyen színeződése. A legjobb bizonyíték ennek a véleménynek helyessége mellett az, hogy a Mars sarkvidékein elterülő hómezők fehérnek látszanak, a vörös színnek nyoma sincs rajtuk. Ha a vörös színt a légkör okozná, akkor a hómezőket is vörösnek kellene látnunk.

A Mars távolsága a Földtől átlag 75 000 000 és 375 000 000 km közt változik. A Mars pályájának nagy excentricitása miatt ez a távolság ezen középértékek körül még inkább ingadozik. Ezért a Mars látszólagos átmérője nagyon változó. Nagyon kedvező szembenállásnál átmérője 24'', kedvezőtlen együttállásban pedig 4'' alá csökken. Minthogy külső bolygónál nagyobb fázisok nem fordulhatnak elő — a Mars legnagyobb fázisszöge  $50^\circ$  —, azért a Mars fényerőssége nagy mértékben ingadozik, MÜLLER szerint majdnem  $4\frac{1}{2}$  nagyságrenddel. Kedvező szembenállásnál 2·8 rendű, tehát a Vénus után a legfényesebb csillag. Az együttállás közelében már csak 1·6 rendű, körülbelül olyan, mint az  $\alpha$  Leonis.

A fázis kis értéke miatt a Marsnak fázisokozta fényerősségingadozásai csekélyek. MÜLLER számos megfigyeléséből a Mars fényerőssége és fázisa között ezt az összefüggést lehet levezetni:

$$h = -1.79 + 0.0149 \alpha.$$

A fényerősségnek megfigyelt értéke a Marsnál sem egyezik meg a LAMBERT-féle elméletből számított értékkel, a mint ezt a következő táblázat mutatja:

Fázisszög	Redukció a teljes megvilágításra	
	MÜLLER megfigyelése	LAMBERT elmélete
0	0·00	0·00
4	0·06	0·00
8	0·12	0·01
12	0·18	0·02
16	0·24	0·04
20	0·30	0·06
24	0·36	0·09
28	0·42	0·12
32	0·48	0·16
36	0·53	0·20
40	0·59	0·24
44	0·65	0·29
48	0·71	0·35

Mint látjuk, a fázis hatása a megfigyelés szerint kétszer akkora, mint az elméletből következne, egyébként majdnem olyan, mint a Vénuson.

Elfogadható méréseket a Mars közepes fényerősségére már régen végeztek. A következő táblázat ezeket a méréseket foglalja össze. MÜLLER megjegyzi, hogy az eltérés az egyes értékek között elég nagy ugyan, de mégsem akkora, hogy az eltérések okát a Marson valóban végbement változásokban kellene keresnünk.

A megfigyelés ideje	A megfigyelő	Közepes fényerősség szembenállásban
1801	OLBERS	— 1·65
1845—1858	SEIDEL	— 1·55
1848—1880	SCHMIDT	— 1·65
1864—1865	ZÖLLNER	— 1·87
1875	KONONOWITSCH	— 1·72
1880	COPELAND	— 1·92
1880—1882	PICKERING	— 1·65
1881—1882	KONONOWITSCH	— 2·03
1877—1890	MÜLLER	— 1·79



A Mars albedója 0.220, tehát csak kevéssel nagyobb, mint a Merkuré vagy Holdé. Ez is megerősíti azt a közvetetlen látszatot, hogy a Mars légkörének sűrűsége kicsi és a napfény legnagyobb-részt a Mars fölületén verődik vissza. Helyes volna az albedo értékéből fordítva következtetni. A Hold és Mars fölületét közvetetlenül meg tudjuk figyelni. Ha albedójuk alig különbözik a Merkurétól, akkor a Merkúr légköre csak ritka lehet.

A távcső fölfedezése óta a Mars fölületének részleteit nagy gondnal figyelték meg. Már régen észrevettek rajta világos és sötét foltokat, különösen a sarkvidék fehér süvegét. A hómezők kiterjedése az évszakok szerint változik, ezért arra gondoltak, hogy a Mars fölületén és légkörében hasonlóak a viszonyok, mint a Földön. Ez a hasonlóság, továbbá annak lehetősége, hogy a Marson értelmes lények laknak, a megfigyeléseket kétségtelenül nagyon befolyásolta és most is befolyásolja. Sajnos, a közvetetlen megfigyelésekhez gyakran fűznek ilyen vonatkozásokat, pedig ez az eljárás a tudományos tárgyalagossággal nem fér össze. SCHRÖDER, a Mars buzgó kutatója, már száz évvel ezelőtt a Mars felhőinek mozgásából meghatározta a szelek sebességét és ugyanakkorának találta, mint a Földön. Ma pedig egyáltalában nem tudjuk biztosan megállapítani ily felhők létét.

A Mars felületének főbb alakulatait már kisebb távcsővel is fel lehet ismerni. Sötét és világos helyek váltakoznak rajta úgy, mint a Holdon; sarkvidékét hó fedi. A sötét foltokat a Marson is tengereknek nevezik, a világosakat szárazföldnek, anélkül hogy valóságos tengerekre kellene gondolnunk.

SCHIAPARELLI, a ki a Mars újabb kutatói között a legtárgyalagosabb, erről a kérdésről a következőket mondja: A Mars felületén kétféle vidéket különböztethetünk meg. Az egyik világos, fénylő, színe rendszeren sötétsárga, vagy narancssárga, de idő és hely szerint változik a sárgától a fehérig mindenféle árnyalatban, másrészt a vöröses narancsszín és a sötétvörös között minden képzelhető tónusban. Színét legjobban az erősen kopott bőréhez hasonlíthatjuk. A másik csoportba a sötét vidékeket sorolhatjuk. Ezek a tulajdonképpeni foltok. Alapszínük valami vasszürkeféle, a tiszta feketétől a hamuszürkéhez hasonló színig minden lehető fokozatban. Általában ezek a vidékek sötétebbeknek látszanak, mint az előbbiek. De az is előfordul, hogy a bolygó egyes

részeinek színe annyira változik, hogy meg sem tudjuk mondani, melyik csoport világosabb. Ilyenkor csak *színkülönbségek* látszanak. Mindazonáltal a különbség a kétféle vidék között kevés kivétellel meglehetősen állandó marad.

Ilyen különbségeken alapszanak a szokott elnevezések: »szárazföld«, vagy »világrész«, mely a Mars térképein az első fajta vidéket jelenti, a »tenger«, mely a második fajtának jutott. A bolygó fizikai állapotára vonatkozó mai ismereteink mellett ezek az elnevezések csak emlékezetünket segítik, világosabb és pontosabb leírásra valók, éppen úgy, mint a Hold úgynevezett tengereinél.

A tengerek és szárazföldek a Mars felületének legnagyobb részét foglalják el. De vannak olyan kisebb kiterjedésű változó természetű vidékek, a melyek egyszer szárazföldnek, mászor tengernek, sőt néha mindkettőnek látszanak. Ezek a vidékek, mikor helyzetük és látószögük változik, egész kiterjedésükben, vagy nagy részükben azokat a színárnyalatokat mutatják, a melyeket a Mars szárazföldein és tengerein egyaránt észre lehet venni. Határuk gyakran elmosódott, tengerbe vagy szárazföldbe való átmenet sokszor fel sem ismerhető. Ezek az átmeneti helyek a Mars felületének kissé utóbb következő térképein világosabb folttal vannak jelezve. Ilyenek a Deucalionis regio, Pyrrhae regio, Hellas, Noachis stb. SCHIAPARELLI és mások sok esetben észlelték egyes vidékeknek többé-kevésbé feltűnő változásait. SCHIAPARELLI ilyen változásokat 11 éven át figyelt meg. De maga hangsúlyozza, hogy hiba volna ebből azt következtetni, hogy a változások hosszú időszakokban ismétlődnek. Lehetséges, sőt egyes esetekben nagyon valószínű, hogy némelyik változás a Marsnak minden keringésénél periodikusan ismétlődik. A Mars minden szembenállása pályáján  $48^\circ$ -kal tovább esik, mint az előző volt. Egyik szembenállástól a másikig az évszakok az egész periodusnak (évnek) körülbelül  $\frac{1}{8}$ -részével tovahaladtak. Így a Mars jelenségeit lépésről-lépésre követhetjük. Igaz, hogy a megfigyelt jelenségek részben az elmúlt keringéshez tartoznak, részben a következőhöz.

Valóban észrevették, hogy némelyik változás a Mars forgásával függ össze, vagyis avval a szöggel, amely alatt mi a vidéket a Földről látjuk. Így a kétes jellegű vidékek a szélek közelében általában világosabban látszanak, mint mikor a korong közepére



esnek. A szárazföldek is hasonlóan viselkednek. Igen feltűnőek az ilyen változások az Argyre-szigeten, a mely a korong szélén sokszor olyan világos volt, hogy tévesen sarkvidéki hómezőnek tartották. A korong közepén SCHIAPARELLI gyakran sötétvörösnek látta.

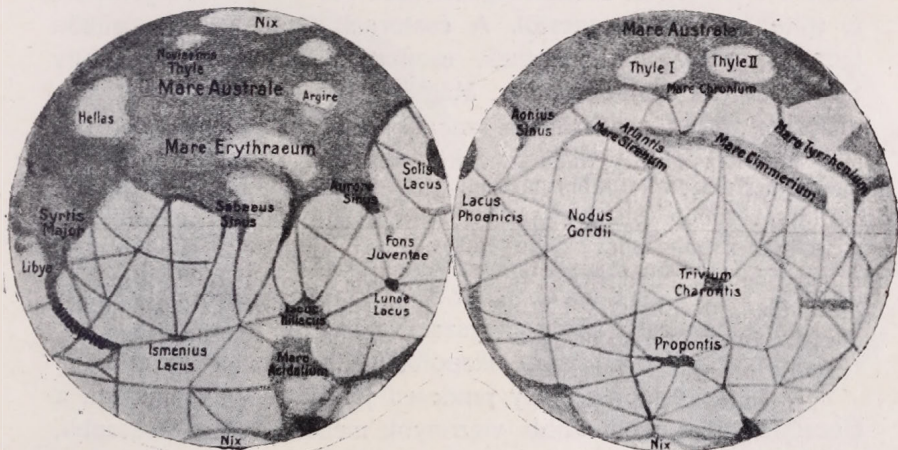
De bizonyos, hogy lassú változások is észlelhetők. Csak SCHIAPARELLI egyik adatát akarjuk említeni. 1877—79-ben az a kiterjedt vidék, a mely a Mare Sirenum alatt a  $190^{\circ}$ -os és  $170^{\circ}$ -os délkör között  $40^{\circ}$  északi szélességig elterül, sokkal világosabb volt, mint a többi szárazföld. Sötét sávok nyomai nagyon határozatlanul látszottak, és alig voltak felismerhetők. 1882-ben ez a vidék sárgább lett és bár nehezen, sötét vonalakból álló kuszált hálót vettek rajta észre. 1888-ban ez a vidék újból világosabb volt és az előző években látszó hálónak nyoma sem volt.

SCHIAPARELLI szerint igen fontos az a körülmény, hogy a tengereken, a mikor a korong közepétől annak széle felé vonulnak, nem látszik változás. A Mars forgása tehát a tengerek külsejét nem változtatja. Ellenben az idők során beálló lassú változásokat biztosan meg lehet állapítani. Ezek abban állnak, hogy a tengerek sötét részei lassanként világosabbak lesznek és fordítva. SCHIAPARELLI nem tartja lehetetlennek, hogy ezek a változások a Mars évszakaival fűggnék össze.

Már említettük, hogy a fehér sarkvidékek kiterjedése az évszakok szerint változik. Az évszakok a Marson nagyon hasonlítanak a mieinkhez, mert a Mars egyenlítőjének és az ekliptikának hajlásszöge  $25^{\circ}$ , tehát kevéssel nagyobb, mint a Földnél. A fehér mezők kiterjedése nagyjából megfelel az évszakoknak, télen nagyobb, nyáron majdnem eltűnik, de a jelenség lefolyása mégis szabálytalan. A fehér mezőket azért nehéz figyelemmel kísérni, mert télen, tehát éppen keletkezésük idején, a sarki éjjel vidékébe esnek, tehát a Földről nem láthatók. A szabálytalanság abban nyilvánul, hogy a legnagyobb és legkisebb kiterjedés nem vág össze a számított idővel, hanem hónapokkal eltér tőle. A fehér mezők ugyanis meteorológiai tényezők hatásai, de ezeknek menete rövid idő alatt a Földön sem szabályos, hanem csak sok év átlagos értékében mutatkozik szabályosság. A mezők legkisebb kiterjedését nem tudjuk észlelni. Ettől a határtól  $40^{\circ}$ -nál messzebbre, tehát több mint 2400 km-re növekedhetnek. Nem

kerek, vagy szabályos alakúak, hanem gyakran csipkézettek, sőt némelykor sötét megszakítás is van rajtuk. Szélük néha élesen látszik, máskor elmosódott, néha még sötétebb határoló övük van. Központjuk gyakran nem a valóságos sarkpont, hanem esetleg messze esik tőle.

A Mars felületének legsajátosabb, eddig meg nem magyarázott jelensége a csatornák. Különösen a nagyközönség körében nagy föltűnést keltettek és a legkalandosabb föltevésekre adtak



169. rajz.

okot. Az elnevezés SCHIAPARELLI-től, fölfedezőjüktől ered. Elnevezésük annyiban találó, mert az úgynevezett szárazföldeken átvonuló vonalas alakok és színük olyan, mint a tengereké. Az elnevezés eredetileg csak külsejüket jellemezte és nem azt fejezte ki, hogy valóságos víztartalmú csatornák. A legnagyobb és legszélesebb csatorna a Nilosyrtis. Ezt már a Mars felületének első leírói észrevették s egyáltalában a legkönnyebben észlelhető. A Mars felületének SCHIAPARELLI-től eredő rajzán (169. rajz) föltűnően látszik. SCHIAPARELLI még sok más csatornát is észlelt, a későbbi megfigyelőknél számuk még növekedett. A 169. rajzunkon azokat a csatornákat láthatjuk, a melyeket SCHIAPARELLI fedezett föl, de a rajz nem hű mása annak, a mit a Mars megtekintésekor láthatunk, mert az összes csatornák egyszerre sohasem látszanak. Leg-



jellemzőbb tulajdonságuk, hogy folyton változnak. A rajz a megfigyeléseket mintegy összegezi. Újra hangsúlyozzuk, hogy a laikus és még némely csillagász véleményével is ellentétben a csatornák egyáltalán nem állandó alakzatok, mint pl. a földi csatornák. Kiterjedésüket sem lehet a mieinkével összehasonlítani.

Kísérreljük meg SCHIAPARELLI megfigyelései alapján, hogy a csatornák jelenségét leírjuk.

A legtöbb csatorna majdnem egyenes vonalú, vagyis a Mars felületén legnagyobb kör íve. De nagyobb eltérések is lehet látni. Különösen az említett legszélesebb csatorna, a Nilosyrtis, tér el föltűnően az egyenestől. A csatornák mind a két végükön tengerbe, vagy tóba vezetnek, esetleg másik csatornába, vagy több csatorna csomópontjába. Még sohasem észlelték, hogy valamelyik csatorna szárazföldön szakadt volna meg.

A csatornák egymást a legkülönbözőbb szögekben metszik. Van olyan hely, a hol aránylag kis területen 7 csatorna találkozik. Itt legtöbbször sötét folt, tó, látszik. A csatornák hossza igen eltérő, némelyik csak 600—900 km hosszú, mások a Mars negyedrészt fogják körül, tehát 5000 km hosszúak, vagy ennél is hosszabbak, még pedig megszakítás nélkül.

A csatornákat különféle állapotban láthatjuk:

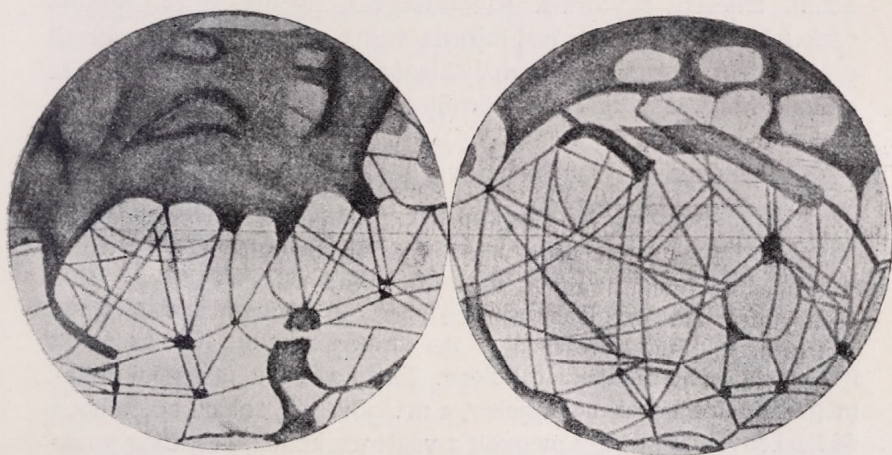
1. Olyan csatorna, mely rendszeren jól látható, ugyanabban a távcsőben a legkedvezőbb viszonyok mellett esetleg hosszabb, vagy rövidebb ideig nem látszik. A láthatatlanság valószínűleg az évszakokkal függ össze, t. i. a déli napfordulattal esik össze.

2. Sokszor a csatornát csak nagyon határozatlanul lehet látni mint a csatorna mentén húzódó gyenge árnyékot. Nehéz ezt az állapotot pontosan leírni, mert már csaknem határán van a láthatóságnak.

3. Igen gyakran a csatornák szürke, mind a két oldalon elmosódott sávok, melyeknek közepe sötétebb, néha nagyobb, máskor kisebb mértékben. Az ilyen sávok rendszeren igen szabályosak, de azért előfordulnak eltérések is úgy élességben, mint sötétségben. Az is megesik, hogy a sáv egyik végén keskenyen kezdődik, a másik vége pedig kiterjedt, gyenge árnyékban vész el.

4. A csatorna rendszeren sötét, néha egészen fekete, élesen határolt vonal, mintha tollal húzták volna a bolygó sárga felüle-

tén. Ebben az állapotban a csatorna kevés kivétellel egész kiterjedésében egyformának látszik. Ugyanaz a csatorna az idő folyamán változó szélességű lehet; vagy olyan keskeny, hogy légkörünk legkedvezőbb állapotában is alig látszik, vagy első pillantásra föltűnő sáv. Az élesen határolt csatorna szélessége és sötétsége egész hosszában egyszerre változik. De ha a csatornát más csatornák több részre szelik, akkor megeshetik, hogy az egyes szeletek szélességben és fényerősségben egymástól eltérnek.



170. rajz.

5. A legkülönösebb jelenség az, mikor a csatorna kettős lesz (170. rajz). A csatorna külseje hosszabb ideig semmi különöset sem mutat s egyszerre csak megkettőződik. Ilyenkor két, egymáshoz közeleső, rendesen egyforma és párhuzamos sávból áll. A két sáv között irányban, vagy szélességben ritkán van valami eltérés. Az egyik többnyire a régi csatorna helyére esik, de az is előfordul, hogy a két sáv egyike sincs a régi csatorna helyén. Csak közel van hozzá, úgy, hogy az eredeti csatorna a valóságban teljesen eltűnt.

A két sáv egymástól nagyon különböző távolságra lehet. A legnagyobb távolság  $10-15^\circ$ , vagyis 600 – 900 km, a legkisebb távolság persze a megfigyelő távcsövével függ. SCHIAPARELLI 3<sup>o</sup>-os, vagyis 180 km-nyi távolságot még észre tudott venni. A sávok



rendesen egész hosszukban egyforma szélesek, a két sáv szélessége is meg szokott egyezni, de a különböző csatornáknál eltérő, az észrevehetőség határától 180 km-ig változhat. A sávok köze rendesen szélesebb, mint maguk a sávok. A két sáv mindig meg egyező színű, de az egyes csatornáknál különböző. A sávok többnyire feketék, vagy nagyon sötétek, de néha téglavörösek. Némelyik olyan halavány, hogy alig lehet környezetétől megkülönböztetni. Gyakran mind a két sávot mintegy félárnyék fedi, de a legtöbb esetben teljesen szabályosak: szélességük, színük, közük teljesen egyforma. Különbségnek nyoma sincs. Mintha csak körzővel és vonalzóval rajzolta volna valaki. Ha az egyszerű csatornában valamilyen szabálytalanság volt, a kettőzöttben ez eltűnik. Még szembetűnően görbült csatornákból is egyenes kettős csatorna keletkezett.

A kettőzés gyakran igen rövid idők alatt áll elő. 24 óra alatt lefolyó kettőződést már tapasztaltak. De a jelenség lefolyását csak kevés esetben sikerült figyelemmel kísérni. SCHIAPARELLI a Ganges példáját említi. 1882. januárius 12.-én még egyszerűnek látszott. 13.-án az egyik oldalon 5<sup>0</sup>-nyi távolságban gyenge, ködszerű sáv tűnt föl. 18.-án és 19.-én ez a sáv láthatatlan volt, de az egész környezet tele volt fehér foltokkal. 20.-án a foltok már nem voltak meg, de helyettük újra megjelent a második sáv, sokkal sötétebben és keskenyebben és így megvolt a végleges kettőződés. Elég gyakran megfigyelték, hogy a két sáv szürke, többé-kevésbbé sűrű ködtömegeből egyszerre vált ki és úgy látszik, hogy ez a ködszerű állapot a kettőzés folyamatának főjelensége. De nem szabad azt következtetnünk, hogy a kettős sávot eleinte köd fedte és csak akkor látjuk, ha a köd eloszlott. A sávok olyanformán keletkeznek, mint a kettős rendek, mikor a szanaszét álló katonák sorba állanak.

Lehet, hogy a kettőzés az évszakokkal függ össze, mert a legtöbb kettőzés kevéssel a tavaszi napéjegyenlőség után és az őszi előtt észlelhető. Az északi szolsztícium idején a legtöbb kettőzés eltűnik, a déli idején pedig mind.

A csatornák metszőpontján ugyanazok a változások látszanak, mint a csatornákon magukon. Ha a csatornák eltűnnek, akkor a metszéspontokat sem lehet látni, legfeljebb gyenge árnyék marad helyükön. A kettőzésben is résztvesznek, bár ezt nehéz megfigyelni.

Úgy látszik, hogy a kettőződés nemcsak a csatornákra vonatkozik, hanem a nem túlságosan nagy kiterjedésű sötét foltokra is. Sőt talán a tengerekre is, de ezt csak a szigeteken lehetne észrevenni.

A változások a Mars felületén mindenesetre nagyon bonyolultak. SCHIAPARELLI-nek igaza van abban, hogy a sok felmerülő kérdésre kielégítő feleletet csak a megfigyelések nagy tömegéből lehet adni. Meg kellene állapítani a csatornák változásának sorrendjét. Akkor látni lehetne, hogy a sorrend állandó-e és időszakos-e. Vizsgálni kellene azoknak a jelenségeknek összefüggését, a melyek ugyanannak a vidéknek csatornáin egyszerre folynak le. Végül kísérletet kellene tenni a helyi viszonyok hatásának megismerésére, megkülönböztetve ezeket az egész felületen ható okoktól, a melyek a Nap állása szerint változnak.

Ha a Mars felületén látható jelenségeket meg akarjuk magyarázni, akkor a Mars általános állapotáról nem szabad megfeledkeznünk. Ezt az állapotot a színeképelemzés és fényerősségmérés eredményei szerint is a Mars nagyobb kora idézi elő. Ebben a tekintetben a Mars a Föld és a Hold között van. Légköre és vize tehát aránylag kevesebb van, mint a Földnek, de mindenesetre van észlelhető mennyiségben. Azonkívül a Marson a nap-sugárzás jelentékenyen gyengébb.

Semmiféle tapasztalat nem akadályoz abban, hogy a világosabb részeket szárazföldeknek tekintsük, a sötéteket pedig tengereknek vagy legalább úgy, mint a Holdon, volt tengereknek. Kérdés, hogy kívülről nézve a tenger világosabbnak, vagy sötétebbnek látszik-e, mint a szárazföld. Ha nagyon magas helyről tavat, vagy tengert nézünk, általában sötétebbnek látjuk. Ezt várhatjuk tehát a Marson is. De néha a napfény tükröződését is kellene látnunk. Ilyenkor a Mars kis albedója miatt a tenger nagyon világos folt volna. De ezt eddig sohasem tapasztalták, ezért olyan jelenségre akarjuk a figyelmet irányítani, a melyet eddig nem igen vettek tekintetbe. A Marson a Nap sugárzásnak erőssége feleakkora sincs, mint a Földön. A Föld felületét a Nap  $88^\circ$ -kal melegíti fel, így az átlagos hőmérséklet  $15^\circ$ . A felületnek megegyező alakulata mellett a Marson a felmelegedés csak  $38^\circ$  lenne, vagyis a Mars felületének közepes hőmérséklete  $-35^\circ$  volna. De a viszonyok a két bolygón bizonyára nem egyeznek, tehát  $-35^\circ$  hőmérséklet nem biztos



érték. De annyi bizonyos, hogy a viszonylag öregebb Mars felületének hőmérséklete, a mely a kisugárzás következtében előálló hőveszteség és a belülről kapott hő egyensúlya esetén áll elő, kisebb, mint a Földön, tehát pusztán emiatt a Mars felületének hőmérséklete még  $-35^{\circ}$  alatt volna. Nem ragaszkodunk ehhez az értékhez, hanem csak azt következtetjük — és ez ellen aligha lehet ellenvetés, — hogy a Mars felületének hőmérséklete a víz fagyáspontja alatt van, tehát a Marson csak jég lehet. Eszerint a sötétebb foltokat jég tömegeknek kellene tekintenünk, a melyek úgy, mint a tavak, sötéteknek látszanak, tükrözés pedig a jég felületének érdessége miatt nem fordul elő. Az érdesség onnan van, mert a Nap sugárzása változó, a lecsapódás pedig egészen, vagy majdnem egészen hiányzik.

A sarkvidéki fehér mezőket eddig általában hónak tekintették, a mely a sarki éjjel esik és nyáron elolvad. De már régebben észrevették ennek a magyarázatnak nehézségeit. Főleg az a kérdés merül fel, honnan jön ez a hó, a mikor a Marson alig vannak felhők. Éppen ilyen nehezen lehet a fehér mezők határának gyors változását megmagyarázni, főleg pedig azoknak a sötét vonalaknak keletkezését, a melyek a mezőt néha két különálló részre osztják. Mindezek a nehézségek az alacsony hőmérséklet föltevése mellett megszűnnek, ha a sarkvidéki mezőket nem hónak, vagy csak kis mértékben hónak tekintjük, hanem felhőknek, vagy ködnek, melynek albedója legalább akkora, mint a hóé.

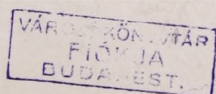
A jég lassabban párolog, mint a víz, azért könnyen megmagyarázhatjuk azt a jelenséget, miért van a Marson kevés felhő. A légkörben általában olyan kevés a vízgőz, hogy túltelítés, vagy túlhűtés ritkán áll elő, tehát a légkör tiszta marad. De ha a Mars felületének hőmérséklete valóban sokkal kisebb, mint a Földé, akkor a sarki éjjel idején a lehűlés igen nagy, tehát a lecsapódás felhő, vagy köd alakjában a kevés páratartalom ellenére is bekövetkezhet. Akkor a sarkvidéket főleg felhő borítja, de lehet, hogy a további sűrűsödés a hideg felületen dér alakjában szintén szerepel. Hasonlóan kell értelmeznünk azokat a kis fehér foltokat, a melyek a Mars felületének különböző helyein, főleg a csatornák közelében láthatók.

A legnehezebb a Mars csatornáinak magyarázata. A legellen-  
tétesebb vélemények merültek fel róluk. Egyesek a csatornákat

egyáltalában nem tartják valóságnak, hanem csak optikai csalódásnak, vagy képzelődésnek. Mások szerint a csatornák valóban megvannak, de a kettőzés csak látszat. Ismét mások minden megfigyelést valóságnak tartanak, a csatornákat magas műveltségű lények munkájának tekintik, a melylyel a Mars lakói a vízhiányon enyhítenek.

Ha a megfigyeléseket valóságnak vesszük, akkor a Marson a szárazföldeket 200—300 km széles és több ezer km-nyi hosszú sávok szelik át. A csatornákat az évszakok szerint nem egyformán lehet látni. A csatornák időnként megkettőződnek, a két sáv távolsága különböző időben nagyon eltérő, néhány száz km lehet. A csatornák színe rendszeren egyezik a tengerével.

Hozzájuk hasonlót a Földön nem találunk, azért magyarázatuknál a képzeletnek tág tere van. Színük olyan, mint a tengereké, közvetetlenül össze is függnek velük, tehát közeli az a gondolat, hogy a csatornák valóban vízzel teltek, de a víz néha eltűnik és ekkor a csatornák nem láthatók. De ennek ellenemond az az előbbi következtetésünk, hogy a Marson folyékony víz nincs. A csatornákat különben sem lehet kizárólag fizikai alapon magyarázni, ezért sok csillagász azt hiszi, hogy mesterséges készítmények. A Mars a fejlődésnek magasabb fokán van, tehát lakói műveltebbek, hatalmas munkák kivitelében ügyesebbek, mint mi. A vízhiány leküzdése végett a szárazföldeket óriási csatornákkal szelik át, a melyeken át víz jut a sivatagba és a tenyésztetést lehetővé teszi. A tenyésztettől függ, hogy a csatornák láthatók-e, vagy sem. A csatornákból a megolvadt hó a sarkok tájáról az egyenlítő felé áramlik, az áramlást mesterségesen segítik elő. A Mars újabb kutatói közül a legbuzgóbbak egyikétől származik ez a nézet. Azt hozzák fel ellene, hogyan jut a víz vissza a sarkokhoz, ha a légkörben annyi víz sincs, hogy a növények megteremhetnének. Azt is megvitatták egész komolyan, hogy a vizet nem szállítják-e mesterségesen vissza. De miért szállítanák vissza? Hiszen örülhetnek, hogy a víz az egyenlítő táján van. ARENDT azt hiszi, hogy a Mars lakói némelykor mellécsatornákat nyitnak meg, ekkor kettőzés jön létre. Másik csillagász fordítva okoskodik: a Marsot egészen víz borítja, a melyen algákból álló hatalmas takaró fejlődött. Az algatelepek a szárazföldek. A csatornák tengeráramok, amelyek az algatakarót kettészakítják.





A kettőzést ellenáramok idézik elő. DOUGLAS néhány évvel ezelőtt a Mars sötét oldalán, a fényhatár közelében világos pontot észlelt. Mindjárt fényjelnek nézték, a melyet a Mars lakói nekünk akartak adni.

Már 50 évvel ezelőtt javasolták, hogy lépjunk érintkezésbe a Mars-lakókkal. Az előbbi vélemény erre emlékeztet. A nagy szavannák egyikén hatalmas derékszögű háromszög-alakot repccével kellene beültetni. A virágzás idején a Mars lakói a sárga háromszöget észrevennék. A következő évben a két befogó fölé szerkeszthető négyzetet kellene beültetni, az átfogó négyzetét ellenben nem. Ha a Mars-lakók valóban műveltek, akkor ismerik *Pythagoras* tételét, hasonló alakkal felelnének, de az átfogó nem hiányoznék náluk.

Két okból időztünk kissé ezeknél a képzelődéseknél: A Mars-lakók legendája a nagyközönség körében annyira elterjedt, hogy tudományosan bebizonyítottnak tartják. De érdemes megfigyelni azt is, mi a vége annak, ha a csillagász letér a tudományos kutatás útjáról és szabad folyást enged képzeletének. Mert a Mars művelt lakói csak a képzelet szüleményei. Lehet, hogy vannak, de a tudományban nem lehet róla beszélni.

Most azoknak a csillagászoknak véleményére akarunk áttérni, a kik a Mars jelenségeit többé-kevésbbé nem tartják valóságosnak. Élükön CERULLI van, a ki még a nagy foltokat, a tengereket és a szárazföldeket sem tartja valóságosnak. Eredményeit fiziológiai hatások igen beható vizsgálataiból vezette le.

Szerinte a Mars felülete a megfigyelés első pillanatában egészen másnak látszik, mint alapos vizsgálatnál. Az utóbbi kép csak akkor alakul ki, mikor az értelem elkezd működni, vagy a szem elkezd összegezni benyomásait. Azért van ez a Marsnál így és más bolygónál nem, mert itt a foltok kicsinyek, kevésbbé ütnek el a környezettől úgy, hogy tulajdonképpen a láthatóság határán vannak és csak a legkedvezőbb pillanatokban, az észlelés kezdetén vehetők észre. A tiszta láthatóság határán alul levő foltok csoportját egészen határozatlannak látjuk és szemünk arra törekszik, hogy meghatározott alakban lássa őket. Az ilyen csoportok helyett tehát csak egyes apró foltokat látunk. Szemünk az egyes foltok erősségét összegezi és a hatást egy pontban egyesíti, ezért ez a folt nem akkorának látszik, mint a csoport, hanem csak pont-

nak. Tehát csak virtuálisan meglevő pontból képzeletünk foltot alkot, míg a valóságos foltok eltűnnek. Mennél tovább észlelünk, annál nagyobb a csalódás. A kezdő megfigyelő kevésbé követi el ezt a hibát, mint a gyakorlott Mars-kutató. Ha a gyenge foltok bizonyos irányban halmozódnak, csatorna keletkezik. A szemünk a különálló pontok helyett összefüggő vonalat lát. CERULLI valóban megfigyelte, a mint a különálló pontokból hirtelen csatorna fejlődött. A jelenség fordítottja is látszott, de csak ritkán.

Ezt a folyamatot legjobban a következő példával magyarázhatjuk meg. Majdnem kerek helyen legyen gyenge foltok csoportja. Ha erőlködve nézzük, akkor a foltokat néhány pontban egyesítve látjuk. De ez a kép nem marad meg; a képzelt foltok szemünkben egymásra hatnak, megváltoznak, részben eltűnnek, végül kerek határvonal látszik, vagyis azt hisszük, hogy élesen határolt, köralakú foltot látunk, a valóságban pedig gyenge kis foltok vannak tetszésszerű elrendezésben egymás mellett.

Hasonlóképpen magyarázza CERULLI a képzelt alakok kettőződését. Sőt annyira megy, hogy az összes alakulatokat a Marson, a tengereket és szárazföldeket csak képzeletnek tartja. Persze mindez csak akkor dönthető el, ha a maiaknál erősebb távcsövekkel fogunk észlelni.

Sok csillagász osztozik CERULLI nézeteiben, ha a végső következtetéseket nem is fogadja el. Megkísérelték ezt a felfogást tapasztalatokkal igazolni. Így ANTONIADI szerint, mikor egymást metsző, finoman rajzolt vonalak rendszerét messzelátóban nézzük, a metszéspontokban sötét foltot látunk úgy, a mint a Marson gyakran megfigyelték. Ugyancsak ANTONIADI egyenletesen befestett és ugyanolyan látszólagos szélességű sávokat, a milyenek a kettős csatornák, messziről nézve kettős vonalnak látszott. EVANS és MAUNDER a következő kísérletet végezték. Megrajzolták a Mars képét, de a csatornák helyett csak finom folyószerű vonalakat rajzoltak és szabálytalanul eloszló, különálló pontokat.

Néhány gyermek ezt a képet különféle távolságból lemásolta. A közel levő gyermekek helyesen rajzoltak, a messzebb ülők egyes, csatornaalakú vonalakat rajzoltak, a metszéspontokban tószzerű kiszélesedésekkel.

Láthatjuk tehát, hogy a Mars alakulatait még nem lehet végleg tárgyilagosan megítélni. A mi véleményünk szerint a



nagyobb kiterjedésű alakok, a tengerek, szárazföldek, vastagabb csatornák, mint pl. a Nilosyrtis, továbbá a sarkvidéki mezők, valóban megvannak a Marson. A többi alakulat léte, főleg a vékonyabb csatornáké és a kettőződésé, nagyon kétes. Mindaz, a mit a Mars lakóiról és műveikről mondanak, nem a tudomány körébe tartozik.

A Mars két holdja, Phobos és Deimos, nagyon gyenge fényű. Fényerősségüket Mars hasonló közelségük miatt nehéz megmérni. A legjobb mérések valószínűleg a PICKERING-éi, a ki fényerősségüket a Mars pontszerűen kicsinyített képének fényességével hasonlította össze. Phobosnál a különbség 14·47 nagyságrend volt, Deimosnál 14·53. A Mars fénye tehát több mint 600.000-szer erősebb. Ha a Mars fényességét a szembenállásban — 1·79 rendűnek vesszük, akkor a két hold 12·7 rendű. Ha a holdak albedóját a Marséval egyenlőnek tekintjük, akkor a fényességből az átmérőt ki lehet számítani és ez 8·5 km-t adna eredményül.

5. *A kis bolygók.* A kis bolygók kevés kivétellel olyan kicsinyek, hogy korongjukat nem láthatjuk, tehát felületük vizsgálatáról szó sem lehet. Fényerősségük is kicsi arra, hogy színképüket elemezni lehetne, ezért fizikai vizsgálatuk csak a fotometrálásra szorítkozik.

Majdnem kivétel nélkül a Mars és Jupiter pályája között vannak. Számuk jelenleg 800 körül van, 1891-ben még csak 322-t ismertek. Az első kis bolygót 1801-ben fedezték fel. A bolygók számának ez a nagy emelkedése onnan van, hogy keresésükre a fotográfiát alkalmazták.

Azelőtt igen nehéz feladat volt kis bolygót felkeresni. Az égboltnak arról a részéről, a hol kis bolygót sejtettek (az ekliptika közelében), különböző estéken térképeket készítettek. Ezeket egymással, vagy a régebbi térképekkel összehasonlították, majd pedig a hiányzó, vagy új csillagok helyzetét kimérték, hogy esetleges mozgásukról meggyőződjenek. A legtöbb esetben az eljárásnak nem volt eredménye. A kis bolygók legbuzgóbb keresője ritkán talált többet évenként egynél.

A fotografálás módszere, a melyet WOLF alkalmazott először 1891-ben, igen egyszerű és gyors. Az égbolt egy részét hosszabb

ideig, pl. két óra hosszát exponáljuk. Az állócsillagok a lemezen kis korongnak látszanak. Az esetleges kis bolygó ezalatt elmozdul, a képen sávot ír le, a mely a csillagok között rögtön feltűnik.

Nyugvó tárgyaknál a távcső fotografáló fényerőssége majdnem határtalan, mert az exponálás idejével folyton növekszik, habár utóbb csak lassan. Nem így a mozgó tárgyaknál. Ha bizonyos ideig már exponáltunk, akkor tovább a kép nem erősödik, hanem csak eltorzul. Ezt az időhatárt akkor értük el, ha a kép a tárgy mozgásánál fogva saját átmérőjével elmozdult. Tehát a távcső fényerőssége a bolygók megfigyelésénél az objektív nyílásától és gyújtótávolságától, a bolygó saját mozgásának nagyságától és a levegő állapotától függ. Mindezt példán akarjuk megmagyarázni. A kis bolygók saját mozgását a szembenállásban átlag perczenként  $0.5''$ -nek vehetjük. 33 cm nyílású és 3.4 m gyújtótávolságú nagyobb fotografáló refraktorban a kép legkisebb korongjának átmérője  $3''$ . Tehát a kis bolygó saját átmérőjét 6 perc alatt teszi meg. Ha tovább exponálunk, akkor a kép nem erősödik. De ennyi idő alatt a 11-edrendű csillagok képe látszik, tehát ilyen refraktorral kis bolygókat a 11. nagyságrendig lehet fotografálni.

Ha ellenben 10 cm nyílású és kis gyújtótávolságú euriszkópot használunk, a melynél a kép legkisebb korongja  $30''$  átmérőjű, akkor a bolygó ezt az utat csak 1 óra alatt teszi meg. Ennyi idő alatt ilyen készülékkel 12-edrendű csillagok képét lehet előállítani. De nemcsak ez az előnyük ezeknek az aránylag olcsó eszközöknek, hanem az is, hogy a kihasználható látómező aránylag nagy. A fotografáló refraktor látómezeje 4 négyzetfok, az euriszkópé ellenben 100 négyzetfok, tehát 25-ször nagyobb a valószínűsége a kis bolygó felfedezésének.

Ha a kép elég erős, akkor a kis bolygók sávját általában könnyű a csillagok pontszerű képétől megkülönböztetni, de azért egyetlen képből nem lehet a kis bolygó jelenlétére biztosan következtetni. Különösen a lemez hibái könnyen vezethetnek tévedésre. De ha gyenge fényű csillagok képe egymás mellé esik, akkor is olyan sáv keletkezik, mint a kis bolygók mozgásából. A kis bolygót biztosan a második képből állapíthatjuk meg. Ezt vagy rögtön az első után készítjük, vagy esetleg másik eszközzel az elsővel egyidőben.



171. rajzunk WOLF-nak az a fölvétele, a mellyel a Sweát felfedezte.

Eddig kevés kis bolygó fényerősségét mérték meg, de az eredmények mégis igen érdekesek. A kis bolygók fázisszöge átlag nem lehet nagyobb  $30^0$ -nál, tehát a fázis változása miatt a fényességben csak kis ingadozást várhatunk, alig nagyobb  $0.1$  nagyságrendnél. De MÜLLER azt tapasztalta, hogy a fényerősség változása a fázis miatt sokkal nagyobb, mint várni lehetett, sőt akkora, hogy régebben tapasztalt fényességváltozásokat, a melyeket időszakos természetűeknek gondoltak, ilyen módon meg lehet magyarázni. Az alábbi táblázatban láthatjuk a fényesség változását nagyságrendben, ha a fázisszög  $1^0$ -kal változik. Megtaláljuk a közepes fényességet a szembenállásban is, mert ezekből az adatokból a kis bolygók átmérőjét ki lehet számítani, ha albedójuk ismeretes. De ezt éppen nem ismerjük. Csak az bizonyos, hogy a kis bolygók teljesen kihűlt merev testek, albedójuk tehát nem sokat különbözik a Merkúrétól, vagy a Holdétól. Az átmérőknek táblázatunkban foglalt adatai a Merkur albedójával számított értékek.

A fényesség változása  $1^0$ -nyi fázisváltozásnál, vagyis a fázis-együttható, az egyes bolygóknál igen különböző. Az Irisnél  $0.016$ , a Friggánál  $0.053$ , a többinél e kettő közé esik a fényességváltozás. Ez azt jelenti, hogy az Iris fényessége a legnagyobb fázisszögnél  $0.5$  renddel kisebb, mint szembenállásban, a Friggáé  $1.6$  renddel. Vajjon ezek a különbségek valóságosak-e, azt MÜLLER nem dönti el. Átlag a fázisegyüttható  $0.030$ . Minthogy az eltérések a LAMBERT-féle törvénytől amúgy is igen nagyok, továbbá egyetlen kivétellel a megfigyelők ugyanannál a kis bolygónál egyenlő fázisegyütthatót tapasztaltak, tehát az eltérések az egyes bolygók között valószínűleg legnagyobbbrészt valóságosak és a felületek eltéréséből erednek.

Azt, hogy mennyire egyeznek meg az átmérők értékei a valósággal, nem tudjuk eldönteni, mert közvetlenül csak a három legfényesebbnek átmérőjét mérték meg, de ezek a mérések is elég bizonytalanok. BARNARD szerint a Ceres átmérője  $780$  km, a Pallasé  $490$  km és a Vestáé  $390$  km. Az első kettő elég jól egyezik a táblázatban közölt értékkel, míg a Vestánál a közvetetlen mérés eredménye feleakkora sincs, mint a fotométriái úton kapott érték.



171. kép.



De a Vesta fázisegyütthatója a másik két kis bolygóéhoz képest igen kicsi és lehet, hogy albedója is egészen más. Kétszerakkora albedo mellett az átmérő kétféleképpen kapott értéke megegyeznék.

Kis bolygó	Megfigyelések száma	Fáziszög köze	Megfigyelő	Fényesség szembenállásban	Fázis-együttható	Átmérő km-ben
1. Ceres	21	3—20 <sup>0</sup>	MÜLLER	6·9	0·042	857
	73	4—23 <sup>0</sup>	PARKHURST	7·2	0·043	
	9	8—17	PICKERING	7·1	0·045	
2. Pallas	39	4—24	MÜLLER	7·6	0·042	662
	23	6—18	PARKHURST	8·0	0·033	
3. Juno	53	7—30	PARKHURST	9·0	0·030	329
4. Vesta	54	2—23	MÜLLER	6·0	0·027	939
	100	1—28	PARKHURST	6·0	0·018	
5. Asträa	24	4—25	PARKHURST	10·1	0·025	180
6. Hebe	6	4—31	PARKHURST	9·0	0·023	253
7. Iris	28	4—29	MÜLLER	8·5	0·019	273
	57	2—31	PARKHURST	8·9	0·016	
8. Flora	14	8—26	MÜLLER	8·9	0·027	210
	25	4—31	PARKHURST	8·8	0·029	
9. Metis	9	2—10	MÜLLER	8·7	0·041	281
11. Parthenope	33	3—26	PARKHURST	9·7	0·022	193
12. Viktoria	21	10—30	PARKHURST	10·1	0·020	137
14. Irene	17	7—20	MÜLLER	9·6	0·034	227
15. Eunomia	11	9—26	MÜLLER	8·9	0·028	343
16. Psyche	29	2—22	PARKHURST	9·6	0·048	322
18. Melpomene	39	4—33	PARKHURST	9·0	0·033	224
20. Marsalia	18	1—19	MÜLLER	9·2	0·026	239
	25	2—23	PARKHURST	9·1	0·051	
21. Lutetia	7	1—13	MÜLLER	10·1	0·036	157
25. Phocaea	16	11—12	PARKHURST	10·8	0·025	110
29. Amphitrite	18	2—22	MÜLLER	8·9	0·025	315
	13	13—24	PARKHURST	8·8	0·033	
30. Urania	24	1—24	PARKHURST	10·4	0·025	124

Kis bolygó	Megfigyelések száma	Fáziszőg köze	Megfigyelő	Fényesség szembenállásban	Fázis-együttható	Átmérő km-ben
37. Fides ... ..	8	4—16	MÜLLER	10·4	0·029	168
39. Laetitia ... ..	9	5—23	MÜLLER	9·7	0·022	266
40. Hammonia ... ..	12	4—24	MÜLLER	9·3	0·018	
	26	3—26	PARKHURST	10·0	0·017	147
41. Daphne ... ..	12	13—24	MÜLLER	11·0	0·028	141
43. Ariadne ... ..	10	4—15	PARKHURST	10·4	0·020	103
44. Nysa ... ..	22	0—22	PARKHURST	9·9	0·025	172
56. Melete ... ..	9	19—28	TJETJEN	10·9	0·046	128
71. Niobe ... ..	13	4—16	TJETJEN	10·2	0·042	209
75. Eurydike ... ..	11	9—28	PARKHURST	12·6	0·030	63
77. Frigga ... ..	11	3—20	PETERS	10·4	0·053	177
127. Johanna ... ..	7	6—17	PARKHURST	12·7	0·020	65
192. Nausikaa ... ..	6	6—16	MÜLLER	9·6	0·034	
	20	10—33	PARKHURST	10·0	0·020	163
258. Tyche ... ..	49	0—27	STECHERT	10·5	0·046	155
261. Prymno ... ..	9	6—21	PARKHURST	12·7	0·017	41

A táblázatból hiányzó kis bolygók átmérőjének értéke nem nagyon megbízható, mert a fényesség mérése a szembenállásban nem elég pontos. KLEINER szerint ha az összes kis bolygókat a 404. sorszámig egyesítenők, akkor 1152 km átmérőjű gömb keletkeznék, melynek térfogata tehát 27-szer kisebb, mint a Holdé.

A kis bolygók fényességváltozását, melyet több megfigyelő észlelt, a fázis nagy hatásával meg lehet magyarázni, a mint ezt már említettük. De az Eros bolygón, a mely a Mars pályáján részben *belül* eső pályájával is feltűnik, OPOLZER már 1901-ben nagy időszakos változásokat vett észre. A fényváltozás periodusa  $5^h 16^m$ . De utóbb kiderült, hogy a fényváltozásnak két periodusa van és mindegyikben a fényesség különböző mértékben változik. Az egyik időszak  $2^h 25^m$ , a másik  $2^h 51^m$ . A fényesség változása majdnem 2 nagyságrend volt (1901. febr.). De márcziustól kezdve a fényerősség változása csökkent. Márczius közepén körülbelül



1 nagyságrend volt, április közepén 0·4, májusban pedig már alig lehetett fényváltozást észrevenni. A fényerősség szabályos ingadozása mindenesetre függött a bolygó forgásától és a bolygó nagyon szabálytalan, széttört testhez hasonló alakjával megmagyarázható. ANDRÉ szerint ez a bolygó kettős, keringés ideje  $5^h 16^m$ . A pálya exczentricitása 0·0569. A két bolygó sugarának viszonyául 2:1 volna veendő, lapultságuk  $1/2$ . A nagy tengely csak kevéssel kisebbnek adódott, mint a két sugár összege, tehát a két bolygó majdnem érintkezik. Ha érintkeznének, akkor nem lehetne eldönteni, hogy kettős bolygóval van-e dolgunk, vagy pedig egy hosszúkas, szabálytalan alakúval. A kérdést nagyon bonyolítja az a körülmény, hogy a fényerősség nem mindig változik, vagy néha észrevehetetlenül kevésbé. Kielégítő magyarázatát ennek a rejtélyes kérdésnek nem sikerült még megtalálni.

Mikor időszakos fényváltozást egy esetben már biztosan megállapítottak, az utóbbi években azt hitték, hogy más kis bolygókon is észlelték ezt a jelenséget. Egyes esetekben ez valóban így is van, de a legtöbb megfigyelésnél a fényváltozás túlságosan kicsi, vagy az észlelések száma nem elég nagy és így biztosat nem tudunk.

6. *Jupiter*. A Jupiter sokkal nagyobb a többi bolygónál, korongja nagyobbak látszik, mint a Vénusé, bár nagy távolságra van a Földtől. Fényessége azonban jóval kisebb, mert a nagy távolság miatt a Nap 27-szer gyengébben világítja meg. Szembenállásban nagyságrendje — 2·5 és — 2 között van, míg az együttállás közelében a napsugarakban való eltűnté előtt — 1·5-re csökken. Fényerősségének változása tehát 1 nagyságrend. Fázisszöge  $12^\circ$ -nál nem lehet nagyobb. Sok és gondos megfigyeléssel sem sikerült kimutatni a fényerősségnek a fázisszögtől való függését. Ez a negatív eredmény azonban fontos, a mint MÜLLER következő okoskodásából láthatjuk. Az elmélet szerint a fényerősség a fázis miatt csak 0·04 renddel változik, de ezt már nem tudjuk észrevenni. Az elmélet tehát a tapasztalattal megegyezik. De ha a Jupiter ebben a tekintetben úgy viselkednék, mint a Mars, akkor a fényerősség változása 0·17 rend volna, ezt pedig még éppen észre lehet venni. Ha pedig úgy viselkednék, mint a Merkúr, vagy a Hold, vagy a kis bolygók, akkor a változás 0·3—0·4 rend volna, a mi ellenkezik a tapasztalattal. A fázisszögnek tehát körülbelül

olyan hatása van, mint a Vénuson és így a felületnek is hasonló természetűnek kell lennie, vagyis felhőkre következtetünk. Ezt mutatja a felület közvetlen szemlélete is, továbbá az albedo nagy értéke, 0.616, a mely közel van a Vénuséhoz.

Miként látni fogjuk, a Jupiter felülete nagyon változó, tehát lehetséges, hogy ez a változás a fényerősségben is megváltozik. A kérdés eldöntése végett MÜLLER a következő táblázatban összefoglalta a közepes fényerősség értékeit a szembenállásban.

Év	Megfigyelő	Megfigyelések száma	Közepes fényesség	Napfoltok
1845 – 46	SEIDEL	5	—2.05	1848 maximum
1852	»	12	—2.04	1860 minimum
1862—64	ZÖLLNER	6	—2.33	1871 maximum
1875	KONONOWITSCH	8	—2.21	
1882	»	8	—2.06	
1878	MÜLLER	26	—2.11	
1879—80	»	53	—2.23	1879 minimum
1880—81	»	27	—2.26	
1881—82	»	15	—2.33	
1883	»	5	—2.30	
1883—84	»	12	—2.35	1884 maximum
1885	»	15	—2.31	
1886	»	20	—2.28	
1887	»	7	—2.25	
1889	»	6	—2.16	1889 minimum
1890	»	21	—2.14	

Ha csak MÜLLER-nek megegyező körülmények között végzett megfigyeléseit vesszük tekintetbe, akkor látjuk, hogy a Jupiter fényerőssége 1878-tól 1884-ig, tehát a napfoltok minimumától a maximumig, folyton növekedett, innen kezdve pedig folyton csökkent a legközelebbi minimumig. A két jelenség tehát párhuzamos menetű. De sajnos, 1890-ben megszakadnak tapasztalataink, ezért a párhuzamosságot még nem tekinthetjük igazoltnak.



Ne feledjük el, hogy a Jupiter keringésének ideje a napfoltok időszakával összeesik és így a fényerősség változását a napsugárzásnak az a változása is okozhatja, a mely a pálya excentricitása miatt áll elő. A megfigyelések közepes szembenállásra vannak átszámítva, tehát már tekintetbe vettük a sugárzásnak azt a közvetlen különbségét, a melyet a távolság változása okoz.

A Jupiter bolygó színeképe a törékenyebb részben, a kékben és ibolyában egyáltalában nem tér el a Nap színeképétől, hanem csak a kevésbbé törékeny részben. A vízgőz sávjai sokkal erősebbek, tehát nem lehet kétség abban, hogy a Jupiteren vízgőz van. Új sáv is jelentkezik; közepe  $\lambda$  6180 hullámhosszra esik. Eddig nem találtak olyan földi gázt, a mely ilyen elnyelést létesít. A külső bolygók, Saturnus, Uranus, Neptunus légkörében ez a gáz még nagyobb mennyiségben mutatkozik.

A Jupiter korongján nagyszámban látható sötét, vöröses-barnaszínű alakulatok, t. i. az egyenlítői sávok, a vörös folt, csak a folytonos színeképet módosítják, de nem a vonalakat. Ilyen helyről jövő fény színeképe sötétebb, még pedig az ibolya felé nagyobb mértékben sötétedik, éppen úgy, mint az általános elnyelés erősödésekor. Így a vöröses-barna színeződést teljesen meg lehet magyarázni. Föltehetjük tehát, hogy ezen alakulatok a felhőburok mélyebben fekvő helyei, a belőlük jövő fénynek a légkörön keresztül nagyobb útát kell megtennie. A színeképelemzés tehát nem igazolja azt a többször hangoztatott véleményt, hogy a felhők hasadékein át a Jupiternek vörösen izzó felületét láthatjuk. Az utóbbi időben MILLOCHAU-nak sikerült a Jupiter színeképének kevésbbé törékeny részéről fotografiákat készíteni, ezek megerősítik és kiegészítik a közvetlen megfigyelést. A vízgőz összes sávjai erősebbek, különösen a színeképnek a déli egyenlítői sávtól eredő részében. Ez a sáv a megfigyelés idején igen erős volt. Azonkívül jól fel lehetett ismerni a Jupiter légkörének sajátos sávjait  $\lambda$  6180, 6070, 6000, 5780 és 5150 hullámhossznál.

A Jupiter korongjának külsejében van jellemző állandó elem, bár az egyes részek folyton nagy mértékben változnak. Jellemző, hogy a nagyobb részletek az egyenlítővel párhuzamosak. Az ellipszissé lapult korongon az egyenlítő a nagy tengely irányába esik, ezért mindig könnyen felismerhető. Az egyenlítőt mindig világos

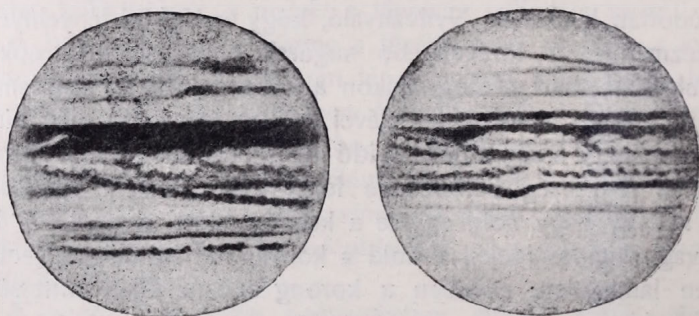
sáv jelzi, mindkét oldalán pedig sötét sáv húzódik. Észak és dél felé még több világos és sötét sáv látszik, de ezek már sokkal halványabbak, mint a tulajdonképpeni egyenlítői sávok, azonkívül gyorsan átalakulnak és számuk változó. Jellemző továbbá, hogy a fényesség a korong széle felé annyira csökken, hogy a szélek elmosódottan látszanak. Nyilvánvaló, hogy ez légköri fényelnyelés következménye. A törékenyebb sugarak elnyelése még sokkal nagyobb fokú, mert a fotografiákon a korong széle fel sem ismerhető, az átmérő a főlvetel idejével nő, ha ez az idő még nincs is akkora, hogy a kép a hosszú idő miatt kiszélesednék. A korong részein a fényesség különbsége főleg akkor látszik világosan, mikor a négy nagy hold egyike a korong előtt elvonul. A belépés vagy kilépés idején a hold a korong szélén világos, esetleg egészen láthatatlan, ellenben a korong közepe táján mint sötét folt válik ki.

Gyengén nagyító kis távcsőben a sávokat élesen határolva és egyenletesnek látjuk. Nagyobb készülékben feltűnik bonyolult szerkezetük, a mely többé-kevésbé változik. Az egyenlítői világos sáv határa a sötét sávok felé többnyire éles, de a határvonalak egészen szabálytalanok. Fehér részek öbölszerűen, sőt gyakran hosszú sávok alakjában benyúlnak a sötét részekbe. De ezek a fehér sávok nemsokára meghajlanak és mint hosszú, világos sávok a sötét tájakban maradnak. Néha a sötét egyenlítői sávok egyes helyeken bordázottak, vagy sötétebb és világosabb foltok látszanak rajtuk. Hasonló alakokat a többi sávban is lehet látni. Különösen feltűnők a világos bemélyedések, a melyek talán még világosabbak, mint az öv, a melyből kiindulnak.

A legfeltűnőbb és legsajátságosabb a Jupiter felületén a déli félgömbön látható nagy vörös folt. Valószínűleg az 1878. év első felében keletkezett, mert a rákövetkező szembenállás idején vették először észre mint vörös, ellipszisalakú foltot a sötét egyenlítői sáv déli szélén. Ettől fogva mindig halványabb lett, de még ma is látszik bágyadt fényben. A sötét sáv azon a helyen, a hol a folttal érintkezik, erősen öblös és így a folt egész környezete világos. Láthatósága DENNING szerint 1890. óta változó, mert néha sötét sávok vonulnak el előtte és elfedik. Hossza a Jupiter átmérőjének  $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{5}$  része. Felszíne nagyobb, mint az egész Földé.

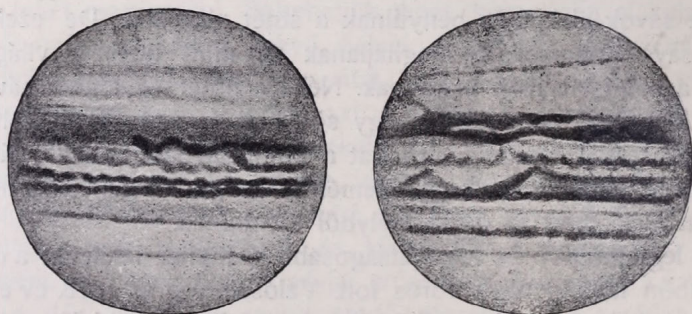


Nehéz volna a Jupiter felületén látható részleteket és változásait bővebben leírni. Sokkal jobban és könnyebben ismerhetjük meg ezeket olyan rajzokból, a melyek különböző időben készültek. 172. és 173. rajzunk DE BALL-tól származik 1882-ből és 1885-ből.



172. rajz.

Arra, hogy ezzel szemben a bolygók felületének fotografálása mennyire hátrányban van, szolgáljon például a 174. rajz, mely egyike a legjobb fotografiáknak (a vörös folt is rajta van).

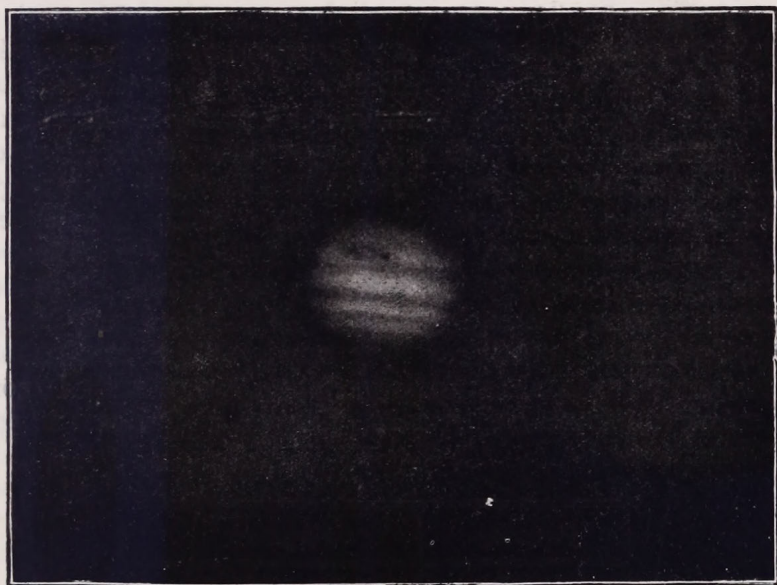


173. rajz.

Egyesek a Jupiter felületének némely változását időszakosnak tekintik és összefüggésbe hozzák a Jupiter 11 éves Nap körüli keringésével. WONASZEK-nek a kiskartali obszervatóriumon tett megfigyelései szerint az egyenlítő tájának rendes külseje, t. i. a világos egyenlítői sáv kétoldalt egy-egy sötét sávval, a következő időszakos változáson megy keresztül: Az északi sáv lassan felbomlik, a déli pedig néhány hónap lefolyása alatt észak felé

húzódik és közben alakja nagymértékben változik. A mikor északon a sáv legkisebb, a déli egyenlítőn túl terjeszkedett. Szélén sötét foltok jelentkeznek, a melyek utóbb megnyúlnak. Mialatt ezek a sávok egyre hosszabbodnak, az egyenlítői sáv középső része folyton világosabb lesz, míg végül a rendes alak újra visszatér.

Következő táblázatunk a Jupiter legtöbb és legkevesebb sávjának idejét, továbbá a perihélium és afélium idejét mutatja.



174. rajz.

A legtöbb sáv ideje nagyjában összeesik a perihéliummal, a legkevesebb sávé az aféliummal, a mi tán összefüggésben van a szembenálláskor észlelhető fényerősségnek fenntemlített változásával.

Legtöbb sáv	Legkevesebb sáv	Perihélium	Afélium
1856·0	1861·0	1857·3	1863·2
1867·9	1873·3	1869·0	1874·9
1879·7	1884·1	1880·8	1886·7
1891·7	1896·4	1892·5	1898·4



DENNING-nek is feltűnt az, hogy az egyik övben egyszer sok folt keletkezett, és 11 év múlva, mikor a Jupiter újra közeledett a Naphoz, ez a jelenség megismétlődött.

A Jupiter felületét és változásait, akár közvetlenül figyeljük, akár fotometrálással, vagy színeképelemzéssel, csak úgy értelmezhetjük, ha fölteszük, hogy hatalmas felhőréteg van rajta, éppen úgy, mint a hogyan a Napnál kénytelenek voltunk ezt fölteni. Az összes megfigyelések megegyeznek avval a további föltevés-sel, hogy a legvilágosabb részek legmagasabban fekszenek, a sötétebbek pedig mélyebben. A sötétebb szín a nagyobb elnyelés-ből ered. Azt nem tudjuk eldönteni, hogy egyes részek olyan mélyek-e, hogy a felhők hasadásain át a Jupiter felületét látjuk.

Különösen érdekes jelenség, hogy a Jupiter felületének egyes részei, mint már régebben észrevették, különböző sebességgel forognak. Ez a legbiztosabb bizonyítéka a felhős szerkezetnek. A Jupiter gyorsan forog, forgásideje 9 óra 50 percz, a melyet könnyen meg lehet állapítani, úgy hogy megfigyeljük azt az idő-pontot, a mikor valamelyik élesen látható pontja a korong közép-vonalán áthalad. Valóban sok ilyen megfigyeléssel rendelkezünk. Kétségtelenül megállapították, hogy a forgásidő úgy, mint a Napon, a sarkok felé növekszik. STANLEY WILLIAMS a következő közép-értékeket találta:

Szélesség	Forgásidő
+ 12°	9 <sup>h</sup> 55 <sup>m</sup> 36 <sup>s</sup>
+ 4	9 50 40
— 8	9 50 22
— 30	9 55 17

BELOPOLSKY sokkal több megfigyelés alapján az alábbi táblázatban feltüntetett adatokat kapta:

Szélesség	Északon	Délen
5°—5°	9 <sup>h</sup> 50·3 <sup>min</sup>	50·2
5 —10	50·7	53·2
10 —15	54·8	55·3
15 —20	55·8	55·3
20 —25	55·7	55·6
25 —45	55·5	54·9

Látjuk, hogy csak az egyenlítő körül fekvő aránylag keskeny sávban nagyobb a sebesség, mint a nagyobb szélességű helyeken. Ez az öv, úgy látszik, az egyenlítőre nézve nem szimmetrikus, hanem inkább az északi félgömbre esik. Az átmenet a lassúbb forgásra elég hirtelen. Az egyenlítői öv és a felület nagyobb része között levő sebességkülönbségnek az a következménye, hogy az egyenlítői öv körülbelül 47 nap alatt egygyel többet fordul, mint a felület többi része. A sebesség hirtelen változásával megegyezik az az említett tapasztalat, a mely az egyenlítői sötét sávba nyúló világos foltokra vonatkozik, mert KEELER szerint ezek mindig a Jupiternek azon széle felé hajlanak el, a mely a forgásban utánuk következik. Olyan felhőtömegek ezek, a melyek az egyenlítői öv széléről kifelé áramlanak és a világos egyenlítői övnek előresiető árama mögött fokozatosan visszamaradnak.

STRUVE H. 1903-ban mikrométerrel gondos megfigyeléseket végzett és a Jupiter forgásában további törvényszerűségeket állapított meg. Ezeket ugyan egyelőre csak a megfigyelés idejére tekinthetjük helyeseknek, de valószínűleg általános érvényűek. Azok a foltok, melyeknek szélessége megegyezik és alakja is hasonló, majdnem egyformán mozognak az egyenlítővel párhuzamosan. Föltehetjük tehát, hogy az egyenlő szélességben levő foltok közel ugyanabban a magasságban vannak és követik a bolygó körüli, keskeny övbe eső áramlást.

A déli széles, sötét egyenlítői sávban közeleső pontok igen eltérő sebességgel mozogtak.

A foltok nem mindig forognak ugyanavval a sebességgel. Így a vörös folt sebessége az évek folyamán csökkent, a mint STERNBERG táblázata mutatja.

Év	Forgásidő	Év	Forgásidő
1879	9 55 <sup>m</sup> 35.1 <sup>s</sup>	1884	9 55 <sup>m</sup> 39.2 <sup>s</sup>
1880	35.0	1885	40.1
1881	36.1	1886	40.1
1882	37.3	1887	40.6
1883	38.1	1888	43.9

Az egyenlítőből kiinduló, fehér fonalaknak tűnő áramlások kivételével a foltokon a szélesség rendszeres változását nem figyelték meg egész bizonyossággal. Úgy látszik, hogy a vörös



folt déli szélessége 1879-től 1882-ig  $1^0$ -kal megnagyobbodott, de az is lehet, hogy ez kis alakváltozásból származik.

A Jupiter felhőinek mozgása sok föltevésre adott már okot, de véleményünk szerint ezek még nagyon koraiak. Már említettük, hogy a Jupiter forgása bizonyos tekintetben hasonlít a Nap forgásához. A hasonlóság csak abban van, hogy a forgásidő a sarkok felé növekszik. De az a törvény, a mely szerint a forgásidő nagyobbodik, a két égitesten különböző. Azonkívül már régebben észrevettek hasonlóságot azokhoz a viszonyokhoz, a melyek a mi légkörünkben az egyenlítő táján uralkodnak. Itt a passzátok és antipasszátok az egyenlítővel közel párhuzamosan áramlanak. De egy körülményt figyelembe kell venni. A meteorológiai jelenségeket a Föld felületén a napsugárzás erősségének változása idézi elő. De a Jupiteren a sugárzás 25-ször kisebb, tehát nem lehet a felhők keletkezésében döntő jelentőségű. Belső okokra kell inkább gondolnunk. Óvatosan megköczkáztatjuk azt a véleményt, hogy a felhők a Nap viszonyaihoz mérten igen kifejtett foltjelenségek. A fejlettséget úgy kell értenünk, hogy a foltok száma egyes vidékeken olyan nagy, hogy a foltok egyetlen sávban egyesülnek. Ennél többet mondani már nem szabad.

Érdemes még megemlíteni BELOPOLSKY-nak azt a kísérletét, melylyel a Jupiter egyenlítőjének forgássebességét színképelemzéssel határozta meg. Ha  $9^h 50^m$ -ot veszünk forgásidőnek, akkor az egyenlítő pontjának sebessége  $12.2$  km másodpercenként. A színképelemzés szerint a sebesség valamivel kisebb,  $11.4$  km. Ha a mérések nehézségeit tekintetbe vesszük, a megegyezést elég jónak mondhatjuk.

A Jupiter négy nagy holdjának megfigyelése több csillagászati feladatra vezetett és az asztrofizikában is, főleg a fotometrálás terén nagymértékben fordult a figyelem feléjük. Rendkívül sok megfigyelés tanúskodik erről. A fényerősség mérését igen megnehezíti a túlsugárzó bolygó közelsége, mert így a háttér nagyon világos, ezért a mérések nagy számából sem lehetett némileg biztos eredményre jutni. Már HERSCHEL W. azt állította, hogy a négy hold fényessége időszakosan változik. Az első és második hold az együttállás és a legnagyobb keleti kitérés között a legerősebb fényű. A harmadik hold fényessége kevésbé

ingadozik, legerősebb a legnagyobb kitérésekben. A negyedik hold pedig legnagyobb fényességét kevéssel a szembenállás előtt és után éri el. HERSHEY ennek valószínű okát abban látta, hogy a holdakon sötét foltok vannak. A holdak keringésideje megegyezik a forgásidővel úgy, mint a mi Holdunknál. A sok közül csak ENGELMANN-nak meglehetősen pontos megfigyeléseit említjük, a melyeket a ZÖLLNER-féle fotométerrel kapott (1870). Azt találta, hogy a két belső bolygó fényessége nagymértékben, gyorsan és szabálytalanul változik, a két külső holdé pedig kevésbé, de szabályosabban. PICKERING 1877-ben és 1878-ban hosszú mérés-sorozatot végzett, de egyik holdon sem tapasztalt a fényerősségben észrevehető változást.

Azt lehetne tehát hinni, hogy a fényerősségeknek régebben észlelt változásai nem is valóságosak, hanem rendszeres megfigyeléshibák következményei, a melyek a holdak keringésével függenek össze. E közben ugyanis helyzetük a világos Jupiter-koronghoz képest változik. A mérőeszközök tökéletesítésével ezek a hibák egyre jobban eltűnnek. De GUTHRIE legújabb vizsgálatai evvel a felfogással ellenkeznek. Szerinte az első és második hold fényessége igen változó. A fényerősség változása az elsőnél 5·5 és 6·4 nagyságrend között van, a másodiknál pedig 5·7 és 6·1 nagyságrend között. Az időszak mind a két bolygónál a keringés-idővel egyezik. Három hónappal később WENDELL a fényerősségben nem vett észre változást, egy évvel előbb pedig WIRTZ elég nagy változást talált. Valószínű tehát, hogy a fényesség változása maga is nagyon különböző. Ez a föltevés igen valószínűtlen lenne, ha az Eros kis bolygónál hasonló jelenséget nem tapasztaltak volna.

A holdak viszonylagos fényességét MÜLLER alábbi táblázata tünteti fel. A harmadik, legerősebb fényű bolygó fényessége az egységül van véve.

Év	Megfigyelő	I. hold	II. hold	IV. hold
1771	BAILLY	0·24	0·24	0·30
1802—1806	FLAUGERGUES	0·62	0·57	0·54
1858—1860	AUWERS	0·60	0·52	0·44
1870	ENGELMANN	0·83	0·70	0·41
1874—1875	FLAMMARION	0·44	0·36	0·21
1877—1878	PICKERING	0·71	0·63	0·35
1887	SPITTA	0·80	0·62	0·46



E szerint a fényességek középértékének viszonya a négy holdnál  $I:II:III:IV = 0.6:0.5:1.0:0.4$ .

PICKERING és SPITTA fényességméréseiből és az átmérőknek BARNARD-féle meghatározásából a négy hold albedójára a következő értékeket kapjuk: I. 0.41, II. 0.49, III. 0.26, IV. 0.12. A negyedik hold albedója tehát akkora, mint a Holdunké, a harmadik holdé majdnem akkora, mint a Marsé, a másik két holdé sokkal nagyobb, még pedig feltűnően nagy, ha meggondoljuk, hogy aligha van felhőburok rajtuk.

A Jupiter holdjainak színekéről kevés a mondanivalónk. VOGEL régebbi megfigyelései szerint azok a jellemző sávok, a melyeket a Jupiter színeképében észleltek, a holdak színeképében is megvannak. Ezt a nem éppen valószínű eredményt eddig nem erősítették meg.

Nagy távcsövekben a holdaknak észrevehető korongjuk van. Már régebbi megfigyelők is láttak foltokat rajtuk. Újabban BARNARD észlelt foltokat, a melyek állítólag akkorák, hogy a hold korongja, mikor a Jupiter korongja elé kerül, megszakítottnak látszik. Az I. holdon állítólag világos egyenlítői öv és sötét sarkvidéki mezők vannak. E négy, a távcső felfedezésének idejében ismert holdon kívül Jupiternek, újabb felfedezések szerint, még 5 apró holdja van, de ezekkel az asztrofizika még keveset foglalkozott.

7. A *Saturnus bolygó*. A gyűrűrendszere miatt érdekes Saturnus bolygó átlag elsőrendű csillagnak látszik. Fényessége nemcsak azért változik, mert távolsága a Földtől különböző, hanem időszakos változása is van, a mely attól függ, hogy a gyűrűrendszer a Földhöz képest milyen helyzetű. A bolygó egy keringésideje alatt a Föld kétszer megy át a gyűrűk síkján. Ilyenkor a gyűrűk kis vastagságuk miatt nem láthatók. Máskor a gyűrűkön visszavert fény hozzájárul az egész fényességhez, még pedig annál inkább, mennél nagyobbnak látszik a gyűrű belseje. ZÖLLNER a gyűrűt szilárd anyagnak tekintette és föltette, hogy fényessége látszólagos felszínével arányos. Matematikai vizsgálatokból kétségtelen, hogy szilárd vagy folyós gyűrű nem lehet biztos egyensúlyban. A Saturnus gyűrűjének tehát nagyszámú kis testből kell állnia. Ezek egymástól függetlenül mint apró holdak a bolygó körül keringnek. Nagyban támogatja ezt a föltevést az a körülmény, hogy a gyűrű befelé álló része átlátszó, továbbá az, hogy a szakadások a gyűrűben

ott vannak, a hol a nagy holdak a kis holdak pályáját leginkább zavarják. Tehát azok a részek, a melyeknek pályája éppen ekkora távolságra esnék, gyorsan más pályára térnek.

Ha a gyűrű kis részekből áll, akkor a visszavert fény erősségét az egyes testecskék megvilágításának tekintetbevételével kell kiszámítanunk. Ezt a nehéz és bonyolult feladatot SEELIGER oldotta meg. Az eredmény egyszerű és független attól, hogy a megvilágításnak milyen törvényéből indultunk ki.

Azt egyáltalában nem tudjuk, miért keletkezhetett éppen a Saturnuson gyűrűrendszer és más bolygón nem. Talán a Jupiter világos egyenlítői öve hasonló jelenség kezdetét mutatja, de itt a jelenség talán sohasem alakul ki, vagy esetleg a Jupiter fejlődésének későbbi fokán.

MÜLLER megfigyelései szerint a Saturnus fényessége a gyűrűk miatt legfeljebb egy nagyságrenddel növekszik. A Saturnus átlagos fényessége a szembenállásban gyűrűk nélkül 0.877 nagyságrend. Jelöljük a Föld emelkedésszögét a gyűrűk síkja felett  $l$ -lel, akkor az összes fényesség:

$$h = 0.877 - 2.597 \sin l + 1.253 \sin^2 l.$$

A Saturnus fázisszöge  $6^\circ$ -nál nagyobb nem lehet, tehát a fázisnak észrevehető hatását a fényességre nem várhatjuk. De MÜLLER mégis észlelt ilyen hatást, még pedig 0.044 nagyságrendnyi növekedést, vagy csökkenést a fázisszögnek  $1^\circ$ -os változásánál.

A túloldali táblázat azt mutatja, hogyan változik a gyűrűk fényessége az emelkedésszöggel. Látjuk, hogy MÜLLER és SCHMIDT megfigyelései jól egyeznek egymással is meg SEELIGER elméletének eredményével is.

A szembenállásban a közepes fényerősség 0.88, ebből az albedo 0.72, olyan nagy érték, a melyet csak a Venus albedója múl felül. Ezért föltehetjük, hogy a fény a Saturnuson is felhőkről verődik vissza.

A Saturnus gyűrűi nem mindenütt egyforma fényességűek. A belső gyűrű mindenesetre a legfényesebb, körülbelül olyan, mint átlag maga a Saturnus. A fotografiákon még fényesebbnek látszik, tehát a gyűrű albedóját legalább akkorának kell vennünk, mint a Saturnusét. Tisztán a gyűrű szerkezetéből nehéz ezt meg-



érteni, mert a részek kicsinyek, tehát teljesen kihűltek. Ahhoz a további föltevéshez kell folyamodnunk, hogy a részeknek fényes tükröző felületük van. Ha ugyanaz lenne az anyaguk, mint a Saturnus felhőburkáé, akkor a gyűrű fényessége valóban kissé nagyobb lehetne, mint a Saturnus gömbjéé, mert a színeképelemzés tanúsága szerint a gyűrűnek nincs elnyelő légköre. De az albedónak ugyanakkorának kellene lennie, vagyis meg kellene egyeznie a vízgőzfelhők, vagy a hó albedójával, vagy pedig a felületnek kellene tükrözőnek lennie.

Az emelkedés- szög	MÜLLER megfigyelése	SCHMIDT megfigyelése	SEELIGER elmélete
0°	0 00	0·00	0·00
2	0·09	0·07	0·09
4	0·17	0·15	0·18
6	0·26	0·22	0·27
8	0·34	0·30	0·35
10	0·41	0·37	0·43
12	0·49	0·44	0·50
14	0·55	0·52	0·58
16	0·62	0·59	0·65
18	0·68	0·67	0·73
20	0·74	0·74	0·80
22	0·80	0·81	0·88
24	0·83	0·89	0·96
26	0·90	0·96	1·04
28	0·94	1·04	1·11

VOGEL, HUGGINS, SECCHI és KEELER színeképelemzéseire arra a megegyező eredményre vezettek, hogy a Saturnus színeképe mindenben hasonlít a Jupiteréhez, főleg pedig abban, hogy a földi sávok erősebbek és hogy a vörös színben  $\lambda 6180$  tízedmillimikron hullámhossznál erős fekete sáv jelenik meg. VOGEL szerint az általános elnyelés különösen a kékben és ibolyában erős, ezért látszik a fotografián a gyűrű fényesebbnek. A gyűrű színeképeinek vörös mezejében az előbbi fekete sávnak nyoma sem látszik.

LOCKYER azt állította, hogy a gyűrű a részek ütközése miatt fényt bocsát ki és a fotografált színekben ennek a fénynek világos vonalait lehet látni. De KEELER ezt az állítást megczáfolta. Bármilyen fekete vonalakkal megszakított színekben széles résnél könnyen előáll a világos vonalak látszata. A vonalak összeolvadása miatt sötétebb részek keletkeznek, a melyekben azok a helyek, a hol kevesebb a vonal, tehát a sötétebb színeknek csak hézagai, világos vonalaknak látszanak. Ha a gyűrűnek saját fénye volna, akkor azon a helyen, a hol Saturnus árnyéka ráesik, látszania kellene, de ez nem így van.

A Saturnus felületéről alig mondhatunk mást, mint hogy a Jupiteréhez nagyon hasonló. Rendes körülmények között az egyenlítő tája világos. Mindkét oldalán sötét és világos sávok következnek, a melyek sokféleképpen változnak. A részleteket nehéz vizsgálni. A forgásidőt legjobban azokon a világos foltokon lehet megfigyelni, a melyek a sötét sávokban gyakran láthatók. A forgásidő törvényszerűségét úgy, mint a Jupiter esetében láttuk, eddig nem találták meg. Többen észlelték mégis, hogy ugyanaz a folt az idő folyamán változó sebességgel forog.

Különösen érdekes, hogy színeképelemző megfigyelésekből meg lehetett határozni a Saturnus gömbjének és a gyűrű különböző részeinek forgássebességét.

Ha a spektrográf rése az egyenlítővel párhuzamos, akkor a színekben a gömbhöz tartozó vonalnak ferdének kell lennie, még pedig a nyugati oldalon a vörös felé kell eltolódnia, a keleti oldalon pedig az ibolya felé. A vonalak azon részének, a mely a gyűrűből ered, arányosan el kell tolódnia. Ha a sebesség a gyűrűben nem mindenhol egyenlő, akkor a vonalak minden részének ferdén kell látszania. Ha a gyűrű merev lenne, akkor a külső részek sebessége nagyobb, tehát a vonalak széleinek legjobban el kellene tolódnia. De ha a részek egymástól független pályán mozognak, akkor a sebesség és így a vonalak eltolódása is a belső részeknél a legnagyobb. A színeképelemzések valóban erre az eredményre vezetnek és így bizonyosan tudhatjuk, hogy a Saturnus gyűrűi apró holdakból állnak. Az így talált sebességek másodpercenként km-nyi mértékben a következők:



	KEELER	DESLANDRES	BELOPOLSKY	Számítva
Az egyenlítőn ...	10·3	9·4	9·4	10·3
A belső szélén ...	20·0	20·1	21·0	21·0
A külső szélén ...	16·4	15·4	15·5	17·1

A Saturnus régebbi nyolcz holdjának fényerősségét PICKERING vizsgálta. A holdakat a Saturnusnak pontszerűen kicsinyített képével hasonlította össze. Következő táblázatunk második oszlopában a hold közepes fényességét a szembenállásban találjuk. Az átmérő értéke számítás eredménye, azon föltevés alapján, hogy a holdak albedója a Saturnuséval egyenlő. A valóságban az átmérők bizonyára inkább nagyobbak, mint kisebbek.

A h o l d	Nagyságrend	Átmérő km-ben
1. Mimas ---	12·8	470
2. Enceladus ---	12·3	594
3. Tethys ---	11·3	916
4. Dione ---	11·5	871
5. Rhea ---	10·8	1197
6. Titan ---	9·4	2259
7. Hyperion ---	13·7	310
8. Japetus ---	11·7	783

PICKERING észlelései megerősítik CASSINI-nek és utóbb HERSCHEL-nek azt a véleményét, hogy a nyolczadik hold, a Japetus, nagyon változó fényű. A fényesség 1·36 nagyságrenddel változik. A fényesség a legnagyobb nyugati kitérésnél legerősebb, a legnagyobb keleti kitérésnél pedig a legkisebb. HERSCHEL 3 nagyságrendnyi változást talált. A fényváltozás és a keringésidő összefüggéséből föltehetjük, hogy a Japetus forgásideje megegyezik keringésidejével és hogy vagy különböző sötétségű részek vannak fölületén, vagy nagymértékben eltér a gömbalaktól.

A Saturnus többi holdján nem látszik fényváltozás, bár régebbi megfigyelők ezt is állították.

8. Az *Uranus bolygó*. Éles szem az Uranust távcső nélkül még éppen meglátja. Fényessége 5·5 és 6·3 között ingadozik. Fázis-szöge nem lehet nagyobb 3<sup>o</sup>-nál, tehát nem lehet hatása a fényességre. A közepes fényességet a szembenállásban a következő táblázat mutatja :

É v	Megfigyelő	Fényesség
1864	ZÖLLNER	5·73
1880 – 1888	PICKERING	5·66
1878 – 1888	MÜLLER	5·86

MÜLLER felhívja a figyelmet arra, hogy a szembenállásban mért fényesség évi középértékei meglehetősen eltérők. 1878-tól a



175. rajz.

nyolczvanas évek elejéig ez a fényesség növekedett, innen kezdve 1888-ig ismét csökkent. A Jupiternél ez a jelenség még szembe-szökőbb, a Marson és Saturnuson is van nyoma. Az Uranusra nézve PICKERING is megerősítette ezt az észleletet. Tehát közös okra gondolhatunk, esetleg a Nap fényváltozására. Az Uranus albedója közel van a Jupiteréhez, 0·604.

Az Uranus színeképe gyenge, ezért a spektroszkóp rését tági-tani kell úgy, hogy a FRAUNHOFER-féle vonalak már nem ismer-hetők fel. HUGGINS és VOGEL aránylag keskeny réssel készítettek színekép-fotografiákat, az erősebb FRAUNHOFER-féle vonalak még látszanak rajtuk. Különös fekete sávok a színeképnek ebben a részében nincsenek. De az Uranus színeképének optikai része egé-szen különleges, mert több erős fekete sáv az első pillantásra meg-különbözteti ezt a színeképet az eddig említett színeképektől.

175. rajzunk az Uranus színeképét mutatja KEELER megfigye-lései és mérése szerint. VOGEL és KEELER szerint a következő sávok vannak benne.



Hullámhossz	A fekete sáv leírása
$\lambda$ 6181	A legerősebb abszorpciós sáv közepe.
5961	Gyenge és igen keskeny sáv.
5750	Széles, nagyon elmosódott sávnak legsötétebb része.
5425	Széles, nagyon sötét abszorpciós sáv közepe.
5180	Nagyon gyenge sáv (talán a Nap színképének <i>b</i> csoportja).
5085	Nagyon gyenge sáv.
4855	Elég élesen határolt, keskeny sáv.

A legerősebb fekete sáv  $\lambda$  6181 hullámhossznál megegyezik a Jupiter és Saturnus színképének sávjával. A  $\lambda$  5750 hullámhossznál levő sáv talán ugyanaz, mint a Nap színképének földi eredetű  $\delta$ -sávja. A többi sáv eredetéről semmit sem tudunk. A  $\lambda$  6181 hullámhossznál levő sáv az Uranus színképében sokkal erősebb, mint a Saturnus színképében és még inkább, mint a Jupiterében. Lehetséges tehát, hogy a többi sáv ugyanannak az anyagnak elnyeléséből származik és a Jupiternél és a Saturnusnál csak a gyengeség miatt nem látszik. De éppen úgy lehet, hogy más, csak az Uranuson levő gázokból származnak.

9. *Neptunus*. A Neptunus fényessége körülbelül akkora, mint 7·5-rendű csillagé. Amiatt, hogy a Földtől különböző távolságra van, fényerőssége már csak 0·2 renddel változik. Fázisszőge még  $2^0$  sem lehet, befolyásáról tehát nem is beszélhetünk. Albedója közel van az Uranuséhoz, 0·521. A gyenge fényesség a színképelemzést nagyon nehezítette. A színképben széles fekete sávok vannak, a melyeknek helyzete, úgy látszik, megegyezik az Uranus színképében levő sávokéval. Fizikai szempontból ismereteink a Neptunusról arra a föltevésre szorítkoznak, hogy az Uranushoz bizonyos tekintetben hasonlít, kiegészítőül még hozzátehetjük, hogy az Uranusnak 4, a Neptunnak 1 holdja van.

Ha ismereteinket a bolygók fizikai tulajdonságairól összefoglaljuk, rögtön föltűnik, milyen keveset tudunk róluk. De mégsem érdektelen a legfontosabb tényezőket összeállítani és egybevetni. Ilyenek: 1. a tömeg a viszonylagos kihülés megítélése

végett, 2. a sűrűség annak megítélésére, hogy a megmért látszólagos átmérő megegyezik-e a mag valóságos átmérőjével, 3. a Nap sugárzásának már előbb említett hatása, 4. az albedo, annak megítélésére, hogy szilárd fölület, vagy felhőburok veri-e vissza a fényt, 5. a légkör színe és esetleg más megfigyelések a légkörre vonatkozólag.

Bolygó	Tömege	Sűrűsége	Sugárzás hatása	Albedo	Színképe	Légköre
Merkur	0·04	0·80	6·6	0·14	Gyenge absz. sávok.	A légkör igen ritka.
Vénus	0·81	0·95	1·9	0·76	Abszorpcziós sávok.	Sűrű légkör tömött felhőburokkal.
Föld	1·00	1·00	1·0	0·1—0·2	Abszorpcziós sávok.	Sűrű vízgőztartalmú légkör változó felhőburokkal.
Hold	0·01	0·60	1·0	0·13	Nincs fényelnyelés.	Nincs légköre.
Mars	0·12	0·81	0·44	0·22	Gyenge absz. sávok.	Ritka légkör, igen kevés felhővel.
Jupiter	309·6	0·23	0·04	0·62	Erős absz. sávok.	Sűrű légkör, hatalmas felhőburok.
Saturnus	92·6	0·12	0·01	0·72	Erős absz. sávok.	Sűrű légkör, hatalmas felhőburok.
Uranus	14·7	0·25	0·003	0·60	Igen erős absz. sávok.	Sűrű légkör, hatalmas felhőburok.
Neptunus	16·5	0·14	0·001	0·52	Valószínűleg ugyanolyan.	Valószínűleg ugyanolyan.

A Merkur, Vénus, Föld és Mars sűrűsége majdnem egyenlő, a többi bolygó sűrűsége is majdnem megegyező, de jóval kisebb. Ez megfelel a KANT-LAPLACE-féle elméletnek a bolygók keletkezéséről és kicsinyben a Föld a Hold rendszerénél is megismétlődik. Valamikor a Föld és Hold távolságán túl terjedt, a Hold a külső részről vált le és sűrűsége csak 0·60.

Vizsgáljuk táblázatunk három legkisebb égitestét, a Merkurt, a Holdat és a Marsot. Kis tömegüknél fogva a fejlődésnek legelőrehaladottabb fokán kell állniok. Mint látjuk, vagy nincs légkörük, vagy csak nagyon ritka. A fényt a megmerevedett fölület veri vissza, ezért az albedo is csekély, 0·13 és 0·22 közt változik. A Föld albedója ugyanakkora volna, ha nem lennének légkörében nagy felhők, melyeknek albedója körülbelül 0·8, ezért a Föld albedója a felület egyes helyein igen eltérő és az időben is változik. Még



az átlagos albedo is nagyon észrevehetően kell hogy ingadozzék. A Vénus, melynek tömege kevéssel kisebb, mint a Földé, abszolút fiatalabb és bizonyára viszonylag is fiatalabb bolygó. Felhőburka sűrűbb és összefüggőbb, mint a Földé, azért albedója legnagyobb valamennyi bolygóé között. A Jupiter, Saturnus, Uranus és Neptunus tömege oly nagy, hogy bár a valóságban korábbi eredetűek, mint a Föld, viszonylagos koruk mégis kisebb lehet. Mind-egyiket sűrű légkör veszi körül. A hatalmas felhőburok miatt az albedo nagy. A légkörnek az a része, a mely ezen a burkon kívül van, még nagy fényelnyelést okoz. A légkörökben olyan gáz, vagy gázok vannak, a melyek a fényt nagy mértékben elnyelik és pedig ezeknek a gázoknak mennyisége a Naptól mért távolsággal nő. A Föld légkörében ezeket a gázokat eddig nem sikerült kimutatni. Az elnyelés módja miatt nem valószínű, hogy új elemekről van szó, hanem inkább vegyületek idézik elő a fényelnyelést.

#### HUSZONKETTEDIK FEJEZET.

### Az üstökösök és meteorok. Az állatövi fény.

Az üstökösök régóta nemcsak a tudósoknak, hanem az egész emberiségnek legnagyobb érdeklődését vonták magukra. És ez érthető is. Váratlanul jelennek meg, gyakran egészen hirtelen, pályájukat az égbolton sokszor oly rendkívül gyorsan teszik meg, hogy majdnem olyan hirtelen eltűnnek, mint a hogyan jöttek. De leginkább sajátos és gyorsan változó alakjuk tűnik föl. Az üstökös fényesebb fejéből hatalmas csóva indul ki, a mely néha az égbolt felét befogja. Ezek az eltérések a többi csillag külsejétől és titokzatos megjelenésük félelmet és ijedséget keltettek az emberekben. Az üstökösök intő hírnökei voltak bekövetkező bajoknak, háborúnak, járváynak. Habár lassanként megszűntek az emberek az üstökösöktől félni, a jelenség a múlt század elejéig titokzatos maradt, míg végül lépésről-lépésre eljutottak a magyarázatához. Ma már az üstökösök jelenségeit főbb részeiben megoldottnak tekinthetjük. Mindent vissza tudunk vezetni erők mérhető hatására, ha az erők természetét nem is tudjuk biztosan megmondani.

Az üstökös, mikor a Naptól távol van, nagyon igénytelen

külsejű. Kerek, közepe felé sűrűsödő ködtömegnek látszik, néha világosabb, élesen határolt magja van, de legtöbbször ez sincs. Csóvát nem lehet látni. A sajátságos jelenségek csak a Nap közelében kezdődnek. Először is mag keletkezik, a mely néha olyan élesen határolt, mint az állócsillag. A magból világos áramlások fejlődnek, a melyek kezdetben a Nap felé irányulnak, de utóbb csakhamar visszahajlanak, változó alakban és irányban visszafolyanak. Így a magot burokkal, az úgynevezett üstökkel veszik körül. Az üstök utóbb az üstökös fején túl áramlik és csóva fejlődik belőle. A csóva alakja különféle lehet, de leginkább görbült tengelyű kúp palástjának látszik. Néha legyezőszerű csóvák keletkeznek, sőt egészen egyenesek is. Nem ritkán ugyanannak az üstökösnek egyszerre különböző alakú csóvái vannak.

Ez a rendes, jellemző folyamat a nagy üstökösöknél. Az utóbbi évtizedben, sajnos, igen kevés nagy üstökös tűnt föl és akkor is Európára nézve kedvezőtlen helyzetben. A kisebb, többször csak távcsőben látható üstökösöknél a jelenség egyszerűbb lefolyású, különösen ha a perihéliumban a Naptól messze vannak. A csóva a magból indul ki. Mikor az üstökös a Naphoz elég közel jutott, a magnak a Nap felé eső oldalából áramok indulnak. Ezek időszakosan változó irányban, de nagyjában mindig a Nap felé, rövid távolságon át haladnak, azután visszahajlanak, a magot bizonyos távolságban körülveszik és a Naptól elforduló csóvát fejlesztik. A csóva a külső szélén mindig fényesebb, mint középen. Ha a csóva egész tere ki lenne töltve a kiáramló anyaggal, akkor a réteg középen a legvastagabb volna és itt kellene legfényesebbnek lennie. Tehát már a csóva külseje elárulja, hogy a kiáramló anyag a visszahajlás után palástszerűen terül el üres paraboloid, vagy hyperboloid fölületén. A csóva legtöbbször görbe, de a pálya síkjában marad. Egyszerre többféle kiáramlás is lehetséges, továbbá a csóván belül másik kúpos csóva is fejlődhet. Ezeket a jelenségeket SCHEINER is észlelte az 1881. évi nagy üstökösnél. Ez az üstökös 1881. június 16.-án ment át a perihéliumon. A tapasztalat szerint ilyenkor a csóva erősebben fejlődik, mint azelőtt. Az üstökösök fejének rajzaiban a fényesség különbségeit túlozni szokták, hogy jobban láthatók legyenek. A konoid jellemző alakját jól lehetett látni, kivéve, mikor az üstökös már messze volt a Naptól. Június 27.-én, július 1.-én, 3.-án, 4.-én második, belül fekvő konoid



feje is világosan látható volt, különösen június 27.-én. Továbbá a tulajdonképpeni fej mellett gyenge, szabálytalan alakú ködszerű tömeg látszott. Június 26.-án egyszerre több erős, de rövid kiáramlás mutatkozott. A többi megfigyelésnél csak egy erős kiáramlást lehetett észlelni, de változó irányban. Július 2.-án nagyon gyenge volt a kiáramlás, de július 3.-án már ismét igen erős. Július 27.-én az addigi csillagszerű, éles mag eltűnt. Az üstökös feje ekkor már elmosódott ködtömeg, a csóva nagyon gyenge. Ha ez is hiányoznék, akkor az üstökös éppen olyan volna, mint a közeledésnél szokott lenni, ha még messze van a Naptól.

Némely üstökösön már régebben észrevettek eltéréseket a rendes alaktól. A csóva nem volt folytonos fejétől végéig, hanem szakadások, csomók, vagy hullámos szerkezet látszott rajta. Ezekről a részletekről a fotografiák sokkal jobban fölvilágosítanak. Csak sajnálhatjuk, hogy a mióta az üstökösök megfigyelésére való eszközöket tökéletesítették, nagy üstökös nem jelent meg. De a gyengébbeknél is sok érdekes, az üstökösök elméletére nézve igen fontos eredményre jutottak. Ezt legjobban azon a fölvetelen látjuk, melyet HUSSEY a *Rordame-Quénisset*-üstökösről 1893. július 13.-án készített. Meg kell jegyeznünk, hogy a kép élességének biztosítása végett az üstököst a célzó távcsőben kellett megtartani, mert helyét nagy mértékben változtatta. Ezért a csillagok az üstököshöz képest elmozdultak, tehát vonalakat írtak le a lemezen. Az üstökös feje túl van exponálva és így kiáramlásokat és üstököt nem lehet rajta észrevenni. A főcsóva hullámos szerkezetű.

Érdekesek a BORELLY-féle üstökös fotografiái is 1903-ból, melyek az általában gyenge és keskeny csóvának változását mutatják 10 nap alatt. Július 24.-én a csóva két különálló részből állott, mindegyik külön áramlott ki. Csak egy lépéssel kellene tovább mennünk, akkor beláthatjuk, hogy ez maga is egy ideig mint gyengébb, önálló üstökös szerepelhetne. Többször észrevették, hogy az üstökös valóban kétfelé oszlott és a két rész különböző, bár egymáshoz közeleső pályán mozgott.

Üstökös színképét először DONATI figyelte meg 1864-ben. Három fényes, széles sávot látott folytonos színkép felett. HUGGINS ismerte fel 1868-ban a három sáv eredetét: szerinte e három sáv a szénhidrogének színképéhez tartozik. A szénhidrogének látható színképében 5 sáv van, a vörösben, sárgában, zöldben, kékben és

az ibolyában. Ezek a sávok vörös felé eső oldalukon élesen határoltak, az ibolya felé pedig elmosódottak (tipikus sáv-színkép). Ez onnan ered, hogy ezek a sávok szabályszerűen sorakozó vonalakkól állnak, még pedig kettős vonalakkól, a melyek a kevésbé törékeny oldalon hirtelen kezdődnek és a törékenyebb rész felé egymástól folyton távolodnak. Kisebb színszórásnál és aránylag széles rés mellett a vonalak egyik oldalán élesen határolt sávba olvadnak össze. Csak erősebb színszórásnál, minőt üstökösöknél eddig nem lehetett alkalmazni, lehet a sáv vonalait külön látni, a mint 176. rajzunk mutatja. A felső színkép még aránylag széles



176. rajz.

rés mellett keletkezett, az alsó igen keskeny résnél. Kis színszórásnál a sáv éle egyszersmind legfényesebb helye is, de csak szűk résnél. Ha a rés széles, a színkép elmosódott, a legfényesebb hely nem a sáv szélén van, hanem belsejében. A sávok szélének hullámhossza a következő:

I. (vörös)	II. (sárga)	III. (zöld)	IV. (kék)	V. (ibolya)
6188	5635	5165	4737	4312

Az I. és V. sávot az üstökös színképében eddig biztosan nem találták meg. Ezek a sávok ugyanis gyengék és ha a szénhidrogének színképét kísérletezés közben gyengítjük, itt is eltűnnek. A zöld sáv a legerősebb, ebben ismerte fel HASSELBERG a második vonalpárt. Így lett kétségtelen, hogy a szénhidrogén és az üstökös sávjai azonosak.

De az üstökös színképe némileg különbözik a szénhidrogének színképétől. Az utóbbiban a sáv legélesebb helye az éles széleken

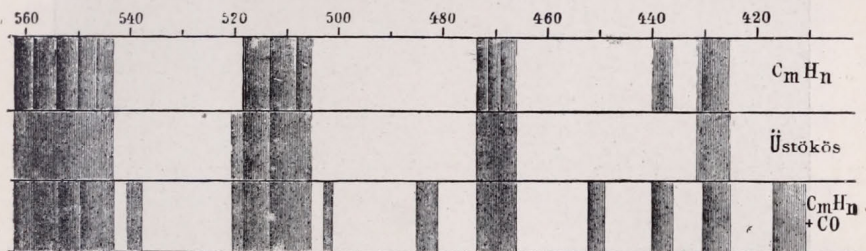


van, az előbbiben a sáv közepe felé. Már említettük, hogy ez az eltolódás széles résnél áll elő. De az üstökös színképében ez a jelenség annyira feltűnő, hogy a színképp tisztátalansága csak részben lehet oka. Az eltolódást nagyobbrészt valóságosnak kell tekintenünk és avval magyarázhatjuk, hogy a szénhidrogén a kísérletezésnél és az üstökösben másképpen jött izzásba. VOGEL-nak az eltérő viselkedést úgy sikerült részben előállítania, hogy a szénhidrogénhez szénoxidot kevert. A szénoxid színképe hasonlít a szénhidrogénéhez, szintén az ibolya felé elmosódó sávokból áll. A szénoxid legerősebb sávjainak hullámhossza a következő:  $\lambda$  6623, 6079, 5608, 5198, 4834, 4510 és 4210. Mint látjuk, a  $\lambda$  5608 és 5198 hullámhossznál kezdődő sávok majdnem összeesnek a szénhidrogén sárga és zöld sávjával, a  $\lambda$  4698 hullámhossznál levő gyengébb sáv pedig a kékkel. Tehát a két gáz keverékében a sávok részben egymásra esnek, ezért a sárga és kék sávban a legerősebb hely a kívánt irányban eltolódik. Igen jól látjuk ezt a jelenséget, ha GEISSLER-féle csőből oldalt kiágazó csőben meteort melegítünk. A kiszabaduló gáz főleg szénhidrogén és szénoxid. Az üstökösök és meteorok szoros összefüggéséből ezt könnyen meg lehet magyarázni. Ha ilyen GEISSLER-féle csövet elektromos szikrával hozunk izzásba, akkor a szénhidrogén és szénoxid egyesült színképét kapjuk. Bizonyos körülmények között az első színkép erősen túlsúlyban van, de megváltozott külsővel. A vörös és ibolya sávok feltűnően gyengülnek, a sárgában a legerősebb fényű hely a sáv közepe felé esik, a kékben majdnem egészen középen van. A zöld sávban a legerősebb hely nem tolódik el, hanem kissé a vörös felé kiszélesedik.

177. rajzunk mutatja, hogyan változik a színkép és hogyan közeledik az üstökös színképéhez.

HASSELBERG egészen más úton hasonló eredményre jutott. Valószínű, hogy az üstökösben a gázok nyomása igen kicsi és nagyon alacsony hőmérsékleten izzanak. HASSELBERG úgy akarta ezek a viszonyokat lehetőleg utánozni, hogy erősen ritkított szénhidrogént a GEISSLER-féle csőben nem a szikra közvetlen átvezetésével hozta izzásba, hanem az elektród-nélküli csőre staniollapokat ragasztott és a bekapcsolt szikraköz kisülései erre hatottak. A gáz így is izzott, de HASSELBERG szerint jóval alacsonyabb hőmérsékleten, a mi abból tűnt ki, hogy a cső sokkal kevésbé melegedett fel.

Tehát HASSELBERG olyan áramkört szerkesztett, a mely HERTZ-féle elektromos hullámokat keltett, bár ezekről nem volt tudomása. A szénhidrogének színeképe ilyen körülmények között nagymértékben változik, mert az ibolya sáv csak igen gyenge, ellenben a kék sáv viszonylag erősebb. A legerősebb fényű hely a kék sávnak nem közepén volt, hanem az ibolya felé eltolódott. Ugyanez történik kisebb mértékben a sárga sávbán. A legfényesebb zöld sáv most sem változott. HASSELBERG elméletileg is kimutatta, hogy a legerősebb fényű hely a hőmérséklet változása következtében eltolódhat, t. i. akkor, ha a sáv két helyén a kibocsátótehetség a hőmérséklettel különböző mértékben változik. Legyen



177. rajz.

a sáv éles szélének kibocsátótehetsége  $E_{sz}$ , a közepéé  $E_k$ . Rendesen  $E_{sz} > E_k$ . Tegyük föl továbbá, hogy a hőmérséklet csökkenésekor  $E_{sz}$  gyorsabban fogy, mint  $E_k$ , akkor bizonyos alacsonyabb hőmérsékletnél  $E_{sz} = E_k$ , és még kisebb hőmérsékletnél  $E_{sz} < E_k$  lesz.

De HASSELBERG sem magyarázza meg, miért nem változik a zöld sáv. Bár lehetséges, hogyha a megkezdett úton tovább megyünk, végül a zöld sávbán is lesz változás. Az előbbi két módszerrel mindenesetre sikerült az üstökös színeképét jól megközelíteni. Nagyon valószínű, hogy az üstökös színeképében mind a két ok érvényesül.

Meg kell jegyeznünk, hogy a fény rendellenes eloszlása az üstökös színeképének szénhidrogénsávaiban nem mindig egyforma. Sőt ugyanannál az üstökösnél is idővel változik. Különösen jól látszott ez az 1892. évi SWIFT-féle üstökösnél, mint CAMPBELL rajza mutatja (178. rajz). A sávok éles szélének eltoló-





üstököseiről olyan színekpfölvételeket készítenie, a melyekben FRAUNHOFER-féle vonalak látszanak. Az üstökös fényének polárosságára vonatkozó eddigi kevés megfigyelésből szintén visszavert fényre lehet következtetni, bár nem lehet eldönteni, hogy az összes fénynek mekkora része a visszavert fény, mert a visszaverődésnél a beeső fénynek csak egy része polározódik.

A legtöbb üstökös színekpe úgy viselkedik, a hogyan eddig leírtuk, de a nagy üstökösöknél, mikor a Naphoz igen közel vannak, más elemek színekpe is föltűnik. Ezt a jelenséget először 1882-ben vették észre egyszerre többen (VOGEL, DUNÉR, BREDICHIN) a WELLS-féle üstökösönél. A színekpben fényes sárga vonal jelent meg, mely a nátrium csíkjával azonos volt. Ezt főleg avval igazolták, hogy a vonal kettős volt. A nátrium olyan erősen világított, hogy a rés tágításakor az üstökös fejét a nátrium fényében alakjáról épp úgy meg lehetett ismerni, mint a protuberanciákat a Nap észlelésénél. A jelenség a perihéliumban a legerősebb volt. Ekkor az üstökös a Naptól 0.06 földtávolságra, vagyis 9 000 000 km-re volt. Nagyon figyelemre méltó, hogy a folytonos színekp a szénhidrogén sávjaihoz képest föltűnően erős volt. Ezek a sávok annál gyengébbek voltak, mennél fényesebbnek látszott a nátrium vonala. Ugyanezt a jelenséget ennek az évnek szeptemberi nagy üstökösén is észlelték. A szénhidrogénsávok erőssége itt is a nátrium színekpétől függött. A kísérleti vizsgálatok egyező eredményre vezettek. Ha GEISSLER-féle csőben szénhidrogén és kevés fémnátrium van és a nátriumot melegítjük, akkor a szénhidrogén sávjai a nátrium erős színekpe mellett egészen eltűnnek. Ha más-más viszonyok között kísérletezünk, különösen ha gázokat különbözőképpen hozunk izzásba, akkor a két színekp kölcsönös viselkedése megváltozik. Azt tartják, hogy a két színekp csak akkor befolyásolja egymást, ha a gázok elektromos áram következtében izzanak, de ha lángban égnek, akkor a színekpek egymás mellett változatlanul megmaradnak. Ebből azt következtették, hogy az üstökösgázok elektromosság következtében izzanak. De ezeket a viszonyokat még nem tekinthetjük tisztázottnak.

Az 1882. évi szeptemberi üstökös nagyon közel jutott a Naphoz, a melytől 500 000 km-re sem volt. Közvetlenül a perihéliumon átvonulás után COPELAND és LOHSE I. G. a nátrium vonalán kívül a sárgában és a zöldben még öt erős vonalat vett észre.



Ezek a vas színképéhez tartoztak. A Nap sugárzása ebben a távolságban bizonyosan elég arra, hogy vasgőzöket fejlesszen, tehát a jelenség magábanvéve érthető. Csak az a föltűnő, hogy a könnyebben párologó fémeknek vonalait nem látták. Ilyenek a kalcium, magnézium stb. Pedig abból a szoros kapcsolatból, a mely az üstökösök és meteorok között van, valószínű, hogy az üstökösökben ezek a fémek is megvannak.

Az üstökösök fejében és színképében mutatkozó bonyolult és változó jelenségeknek az üstökösök fényességében is meg kell nyilvánulniuk. Tehát nem várhatjuk előre, hogy a fényesség szigorú törvényszerűséggel változzék. A méréseknél még különös nehézség is merül föl, mely a fényességmérések értékét az üstökösöknél sokszor nagyon kérdésessé teszi. Gyakran ugyanis kétes marad, vajjon a fényesség az üstökös magjára, vagy egész fejére vonatkozik-e és hogy összfényességet, vagy fölületi fényességet figyeltek-e meg. Ha szabad szemmel észlelünk üstököst, vagy kis nagyítással üstököskeresőben, akkor az egész fej gyakran olyan kis kiterjedésűnek látszik, hogy csak összfényét lehet megmérni, vagy megbecsülni. De nagyobb távcsőben esetleg ugyanannak az üstökösnek csillagszerű magja látszik, a melynek fényességét állócsillagével össze lehet hasonlítani, míg a fejnek összfényességét nem lehet megmérni, hanem csak fölületi fényességét lehet megítélni. Így tehát lehetséges, hogy az üstököst szabad szemmel jól lehet látni, azaz erősebb az ötödik nagyságrendnél és ugyanakkor az, a ki távcsővel figyeli fényességét, vagyis ebben az esetben a magát, 8-adrendűnek mondhatja. Nagyobb távolságban a Naptól gyakran nem lehet magot látni, mert csak utóbb fejlődik. De hogyan kell akkor a korábbi megfigyeléseket a későbbiekkel összevetni? Azt is gondoljuk meg, hogy a kiáramlások többnyire hirtelen állnak elő, vagy változnak, tehát az üstökös saját fényében nagy eltérések lesznek és ezek éppen nem folytonos függvényei a Naptól való távolságnak.

Ha az újonnan fölfedezett üstökös pályáját már meghatározták, tehát mindenkori helyzetét vagy úgynevezett efemeriszét már ki lehet számítani, akkor előre meghatározhatjuk az üstökös távolságát a Naptól és Földtől. A kezdetben észlelt fényességből meg lehet állapítani bármikorra egész fényességét és fölületi fényességét. A fölületi fényesség csakis a megvilágítástól, tehát a Nap-

tól mért távolságtól függ, vagyis az  $\frac{1}{r^2}$  mennyiséggel arányos, ha  $r$  az üstökös távolsága a Naptól. A Föld távolsága akármekkora lehet. Az összfényesség ellenben ettől is függ és arányos az  $\frac{1}{r^2 \Delta^2}$  kifejezéssel, ha  $\Delta$  az üstökös távolsága a Földtől. MÜLLER az 1874. III. üstökösön tanulságos példáját mutatta annak, hogyan változik a fényesség a valóságban. SCHMIDT ennek az üstökösnek fényességét háromféleképpen határozta meg, még pedig távcsővel erősebb és gyengébb nagyítás mellett, továbbá szabad szemmel.

A megfigyelés ideje 1874	A megmért fényesség nagyságrendben			A számított fényesség	
	Erős nagyítással	Gyenge nagyítással	Szabad szemmel	$\frac{1}{r^2 \Delta^2}$	$\frac{1}{r^2}$
Június 1.	10·0	8·0	6·5	10·0	10·0
» 11.	10·0	8·0	5·2	9·3	9·7
» 17.	9·0	7·5	4·6	8·9	9·5
» 18.	9·0	7·7	4·5	8·8	9·5
» 20.	8·0	7·0	4·5	8·7	9·4
» 22.	8·5	7·2	4·2	8·5	9·4
» 24.	8·0	6·8	4·0	8·4	9·3
« 27.	9·0	7·0	4·0	8·1	9·3
» 30.	8·5	7·2	3·5	7·8	9·2
Július 2.	7·5	6·7	3·2	7·7	9·2
» 4.	7·5	6·0	3·0	7·5	9·2
» 6.	7·5	6·7	2·9	7·3	9·2
» 8.	7·0	6·0	2·5	7·1	9·1
» 10.	7·5	5·5	1·9	6·9	9·1
» 12.	7·0	5·0	1·5	6·7	9·2
» 13.	6·5	4·7	1·5	6·6	9·2

Miként látjuk, az erősebb nagyítással végzett mérések, tehát a pontszerű fényesség becslései némileg egyeznek az  $\frac{1}{r^2 \Delta^2}$  kifejezés szerint számított értékekkel. A szabad szemmel megfigyelt fényerősség július 13.-án 5 nagyságrenddel nagyobb az



előbbinél. Ekkora a különbség az egész fej és a mag fényessége között.

SCHMIDT az 1862 II. üstökösön sajátos jelenséget figyelt meg. A fényesség időbeli változását feltüntető görbe nem símán halad, hanem hullámos menetű. A hullámok időszaka 2·7 nap. Az egyes hullámokban a legnagyobb és legkisebb fényességkülönbsége változott, 4 nagyságrendet is elért. Világosan észre lehetett venni, hogy a fényességnek ez az időszakos változása a kiáramlásoknak ingaszerű mozgásával függött össze. A fényesség akkor volt a legnagyobb, mikor a kiáramlás a csóva tengelyével a legnagyobb szöget zárta be, és akkor a legkisebb, mikor ez a szög a legkisebb volt.

Az 1884 I. üstökös külseje januárius 1.-én hirtelen megváltozott. Az állócsillaghoz hasonló mag helyére több másodpercnyi átmérőjű korong lépett. Egyszersmind a folytonos színekép is feltűnően fényes volt a szénhidrogénsávokhoz képest. Az utóbbiak abszolút fényessége nem változott. A jelenség néhány óra alatt folyt le. Az üstökös összfényessége 1·3 nagyságrenddel növekedett. Ez a megfigyelés azért is érdekes, mert talán azt lehet belőle következtetni, hogy a folytonos színekép fényességének hirtelen növekedését az üstökös saját fénye okozza. De az is lehet, hogy a mag növekedése folytán állott elő. A megfigyelésekből nem lehet biztosan eldönteni, hogy a folytonos színeképnek összfényessége növekedett-e, vagy a felületi fényessége.

Az 1882. évi üstökösön láthattuk, milyen nagy értékig növekedhet a fényességük. Ez az üstökös nagyon közel jutott a Naphoz, 0·02 földtávolságra. Fényes nappal könnyen meg lehetett figyelni távcsövön egészen addig, míg a Nap korongjába belépett. A BROOKS-féle időszakos üstökös (1889. VI.) pedig azt mutatja, hogy a Naptól nagy távolságban is a fényességben jelentékeny változások állhatnak be. Megjelenése után 1903. október 24.-én a LICK-csillagvizsgáló nagy refraktorával nem lehetett látni, december 10.-én ismét jól látható volt, mert időközben az elmosódott ködtömegben csillaghoz hasonló mag keletkezett.

Ha az üstökösökön észlelt jelenségeket magyarázni akarjuk, akkor minden elméletnek a közvetetlen megfigyelésekből kell kiindulnia: Az üstökös tömegére, mint általában minden anyagra,

hat a tömegvonzás, tehát minden üstökös kúpszelet-pályán mozog a Nap körül. A bolygók vonzása miatt ez a pálya többé-kevésbbé módosul.

A Nap sugárzásának hatása alatt a magból gázok lépnek ki. Ezek eleinte a Nap felé áramlanak, de utóbb olyan erő hatása nyilvánul, amely a nehézségi erővel ellentett irányú. A kilövelt anyagra már most együttesen hat az az erő, amely az eredeti pályán mozgatta és a Naptól kiinduló »taszító erő«. Így keletkezik a csóva, amely mindig az üstökőspálya síkjába esik. Ezek a kiinduló pontjai az üstökösök elméletének, amelynek OLBERS és BESSEL vetették meg az alapját. A csóva jelenségeit elméletük jól megmagyarázza anélkül, hogy a taszító erő lényegére határozott föltevése lenne. Csak ZÖLLNER fogta fel ezt az erőt elektromos taszításként. BREDICHIN-é az érdem, hogy az elméletet a legkisebb részletekig kiépítette és fejlesztette úgy, hogy az egész feladatot pontos számításnak tette hozzáférhetővé. Nemcsak a csóvák megfigyelt alakja egyezik az elmélettel, hanem új üstökösnél, mihelyt a pályát ismerjük, a csóva alakulását egyetlen, alább még megbeszélendő korlátozással előre meg lehet állapítani.

A kiáramlások mozgását, jellemző inga-lengésüket már BESSEL megmagyarázta. Minden kiáramlás természetesen visszahatást gyakorol a magra. De minthogy tömege bizonyára igen kicsi és sebessége sem túlságos nagy — BESSEL a HALLEY-féle üstökös-nél másodpercenként 1 km-t talált — ezért a visszahatás valószínűleg nem olyan nagy, hogy az egész magot pályájából kitérítene. Ha a kiáramlás iránya nem esik össze a Nap és a mag középpontját összekötő egyenessel, akkor a visszahatásnak oldalt irányuló kis összetevője van, amely a magon forgó mozgást létesít, illetőleg a magnak könnyen mozgatható felületi részeit eltolja. Ezen a részen a sugárzás már nem merőlegesen esik be, a kiáramlás tehát gyengébb, ezért egyúttal a visszahatás is kisebb, és a részek eredeti egyensúlyi helyzetükbe törekednek visszatérni. Tétlenségüknél fogva azonban az egyensúlyi helyzeten túl mozognak. Ez a folyamat ismétlődik és így lengő mozgás áll elő. ZÖLLNER ennek a jelenségnek utánzására a következő készüléket szerkesztette: Üvegcső alul gömbben végződik, felső végén pedig oldalt nyílás van. Középen van felfüggesztve, tehát ingamozgást végezhet.



A gömbben levő vizet alája tartott lánggal forrásig melegítjük. Mikor a gőz a felső nyíláson kiáramlik, a cső a visszahatás következtében egyensúlyi helyzetéből az ellenkező irányban mozdul ki. De ekkor a láng a gömböt nem éri, a gőznyomás és a kiáramlás sebessége csökken, tehát a visszahatás is. A cső visszatér az egyensúlyi helyzetbe, sőt tétlenségénél fogva tovább is mozog. Mikor azonban a lángon átmegy, a gőzáram erősödik, az előbbi folyamat ismétlődik, tehát a cső ide-oda leng.

BREDICHIN az addig ismert üstökös csóvákat vizsgálván, számítás útján azt találta, hogy az összes csóvákat, bármilyen bonyolultak, három csoportba lehet osztani. Mindegyik csoportot pusztán a különböző nagyságú taszító erővel lehet jellemezni. Ha a Nap vonzó erejét az üstökös pályájának vizsgált pontjában egységnek vesszük, akkor a taszító erő az első csoportnál ennél 18-szor nagyobb. A második csoportban 2,5 és 0,5 között van és középvértékben 1,1-nek vehetjük, tehát alig nagyobb, mint a vonzó erő. A harmadik csoportnál a taszító erő csekély, 0,3 és 0,1 között van. Félreértések elkerülése végett meg kell jegyeznünk, hogy az a vonzó erő, a melyet egységnek vettünk, folyton változik, az üstökös közeledésekor a Naphoz a távolság négyzete szerint nő, távolodáskor pedig a távolság négyzete szerint fogy. De éppen így változik a taszító erő is, tehát az egyes erők jellemzője, a vonzó és taszító erő viszonya, állandó marad az üstökös pályájának bármely pontjában. Ezen törvény szerint az összes csóvaalakokat számítással lehet követni és, mint említettük, előre megadni. De vannak olyan üstökösök, a melyek egyszerre mind a háromféle csóvát fejlesztik, mások egyszerre kétfélét, ismét mások csak egyfélét. Előre nem tudhatjuk, hogy az üstökös ebben a tekintetben hogyan fog viselkedni. Tehát pályájának minden pontjára mind a háromféle csóvát ki kell számítani, a megfigyelésnek a számítások egyikét kell igazolnia.

A számítás módjára nem térhetünk ki bővebben, de a csóva jellemző alakját, a mely a taszító erő szerint változik, számítás nélkül könnyen levezethetjük. Az I. típusnál a taszító erő 18-szor akkora, mint a vonzó erő, tehát az utóbbinak alig lesz valami hatása az előbbihez képest. A taszított részecskék nagy sebességgel mozognak az üstökös fején túl, a csóva kes-

keny és legtöbbnyire nem nagyon fényes lesz, kevéssé tér el az egyenestől és majdnem beleesik az üstököst és Napot összekötő egyenesbe. A legtöbb nagy üstökösnél ilyen csóvát lehetett megfigyelni.

A II. típusnál a taszító erő átlag csak kevéssel nagyobb, mint a vonzó erő. Ha a kettő pontosan egyenlő lenne, akkor az eltaszított részecske teljesen független volna a Naptól, olyan egyenes irányú mozgást végezne, melynek iránya és sebessége a kiáramlás irányától és erejétől függ, továbbá attól, milyen volt a részecske sebessége és az üstökőspálya érintőjének iránya az eltaszítás pillanatában. De mert a két erő bizonyára nem egészen egyenlő, azért a részecskék általában nem egyenes irányban mozognak. A II. csoportba tartozó csóvák a nagy üstökösök legfeltűnőbb tünetényei. A pálya vezérsugarától ívalakban eltérnek, szélesek, gyakran nagyon fényesek, de legtöbbnyire rövidebbek, mint az I. csoportba tartozó csóvák.

A III. csoportnál a taszító erő kicsi a vonzó erőhöz képest, tehát csak gyengíti a vonzó erőt. A csóvák halaványak és rövidek, de szélesek és a vezérsugártól arra az oldalra térnek el, a merről az üstökös jött. Csak nagy üstökösöknél keletkeznek a mellett másfajta csóvák.

Ezen a három típuson kívül BREDICHIN még a »rendellenes csóvát« különbözteti meg. Fényes, a Nap felé irányuló kiáramlás az, mely nem fordul meg, tehát taszító erő nem hat rá.

Érdekes jelenség, hogy a különböző nagyságú taszító erő következtében keletkező csóvákban a részecskék kiáramlásának jellemző sebessége is van. A I. típusnál átlag másodpercenként  $6\frac{1}{2}$  km, a II. típusnál  $1\frac{1}{2}$  km, a III. típusnál pedig  $0\cdot3$ — $0\cdot6$  km.

Hogyan képzeljük el a taszító erőt, a melynek az a sajátsága van, hogy ugyanazon a helyen egyszerre különböző nagyságú lehet? A feleletet már ZÖLLNER megadta, hogy t. i. a gázokra ható elektromos taszítás a molekulásúlylyal fordítva arányos. Föltehetjük, hogy az üstökös magjából gázok fejlődnek. Hiszen a szénhidrogénre nézve a színképelemzés ezt biztosan megállapította. Még csak azt kell föltennünk, hogy a taszító erő elektromos természetű és a Nap fejti ki, és akkor a csóvák különböző alakjait meg lehet magyarázni. BREDICHIN a számbajövő gázokat a következő táblázatba foglalta.



Típus	Taszító erő	A taszító erő az I. típushoz viszonyítva	Gázok és atómsúlyuk	
I.	18	1	Hidrogén	1
	2·2	8	Mocsárgáz	8
			Etilén	13
			Nitrogén	14
II.	1·1	17	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	14
			C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	15
	0·5	35	Nátrium	23
	0·3	58	Cziánhidrogén	27
III.	0·2	88	Vas	56
			Réz	64
			Ezüst	108
	0·1	197	Arany	197

BREDICHIN tehát fölteszi, hogy az I. típus csóvái hidrogénből állnak, a II. típusú szénhidrogénekből és esetleg könnyű fémekből, a III. típusú pedig a nehezebb fémek gőzeiből. A rendellenes csóva a föltevés szerint nem gázokból áll, hanem szilárd és folyékony részecskékből, a melyekre az elektromos taszítás észrevehető mértékben nem hat. Sok megfigyelés ennek a felfogásnak helyesége mellett tanúskodik. A II. típus csóvái a legerősebbek és legfényesebbek. A színeképelemzés egészen biztosan megállapította, hogy főleg szénhidrogénekből állnak. Az a körülmény, hogy az üstökösök színeképében sohasem sikerült a hidrogén vonalait megtalálni, nem czáfolja meg BREDICHIN eredményét, mert az I. típushoz tartozó csóvák mindig igen gyenge fényűek. A Nap-hoz közel levő üstökösöknél a nátrium és vas gőzét sikerült kimutatni, tehát a III. típushoz tartozó csóvák keletkezésének magyarázata is valószínűvé vált.

Különösen fontos, hogy BREDICHIN elmélete nemcsak a csóvák jellemző tulajdonságait magyarázza meg, hanem a saját-

szerű és eltérő jelenségeket is. Erre nézve POKROWSKI adatai közül néhány példát idézünk.

Mikor az 1882-iki nagy üstökös a perihéliumon áthaladt, csóvájában két, rostos szerkezetű sűrűsödést vettek észre. Helyüket az égbolton főleg SCHMIDT figyelte meg hosszabb időn át. Ennek alapján BREDICHIN meghatározta a sűrűsödések pályáját. Hiperbolát állapított meg, a melyen az első csomó körülbelül 45 km-es sebességgel haladt. A sűrűsödések szeptember 18.-án váltak le az üstökös fejről, néhány órával azután, hogy a perihéliumon áthaladt. Ugyanekkor észlelték a színekben a nátrium és vas fényes vonalait, a melyekről már említés történt. Tehát ebben az időben az üstökösnek a Naphoz való igen nagy közelsége miatt hatalmas katasztrófa ment végbe az üstökösben, melynek következtében nagy tömegek váltak le fejről.

Az 1893-iki üstökös fölvételein is ilyen leszakadt csomókat láthatunk. De itt azonkívül a fej közelében a csóva hullámos szerkezetét kétségtelenül meg lehet állapítani, BREDICHIN ennek okát a kiáramlás rezgéseiben keresi. A megfigyelések alapján az elmélet segítségével ki lehet számítani a részecskék eltolódásának sebességét és a rezgés periodusát. A különféle anyagok eltérő sebességgel áramlanak ki. A kiáramlás rezgései következtében minden anyagnál külön hullámos vonal keletkezik. A vonalak metszőpontjában természetesen csomók állnak elő, a mint valóban többször megfigyelték.

Az 1893-iki üstökösön azt a sajátságos jelenséget figyelték meg, hogy csóvájának több sűrűsödése igen nagy sebességgel, másodpercenként 96 km-rel mozgott. Ebből a taszító erő nagysága 36 egység, tehát kétszer akkora, mint egyébként az I. típus csóváinál. Az áramló gáznak tehát feleakkora atomsúlyúnak kellene lennie, mint a hidrogénnek, vagy fordítva e gázt kellene egységnyi atomsúlyúnak fölvenni és akkor az I. típus csóvájában szereplő gáz atomsúlya kétszer akkora lenne és eddig ismeretlen gáznak kellene tekintenünk. Ha a többi elemet ennek megfelelően csoportosítanók, akkor a nagy atomsúlyú anyagok számai a III. típusnál még kedvezőbben alakulnának.

Egyelőre nyílt kérdés marad, hogy az üstökösök csóvájában van-e hélium? Mert az a körülmény, hogy az 1811-iki üstökös fejét HERSCHEL szerint határozott sárga színű burok vette körül,



nem sokat bizonyít. Ez a sárga színezet inkább nátriumtól eredhetett.

A BREDICHIN-féle elmélet lényege az, hogy az üstökös fejét valóban anyag hagyja el, a mely külön pályán mozog és a csóvát hozza létre. A csóva egyes részei különböző időben léptek ki a magból. Ebből következik, hogy a csóva anyaga az üstökösre nézve föltétlenül elveszett. Igaz, hogy a csóva anyaga bizonyára igen kis sűrűségű. Még akkor sem sikerült soha fénytörésnek, vagy elnyelésnek nyomát találni, mikor az üstökös feje állócsillagot elfedett. De a csóvák gyakran néhány millió km-nyi hosszúak, mindig újra keletkeznek, akár csak a kéményből kilépő füstfelhők. Tehát a kiröpített anyag az üstökös egész tömegéhez viszonyítva mégis számbavehető. Az üstökös csóvájának térfogata gyakran valóban igen jelentékeny.

A BORELLY-féle 1913 *c* üstökös közepes nagyságú volt. Szabad szemmel meg lehetett látni, de nem volt föltűnő. Csóvájának hossza körülbelül  $10^0$  volt. De július 24.-én körülbelül  $0.5^0$  hosszú és  $0.25^0$  széles tömeg levált róla. Ha vastagságát akkorának vesszük, mint a szélességét, akkor térfogata 26 000 billió köbkilométer, vagyis 25 000-szerese a Föld köbtartalmának, tekintve hogy az üstökös ekkor 53 millió km-re volt a Földtől. Ha a nagy üstökösök csóvájának térfogatát határozzuk meg és ha mindjárt a belső üres teret le is számítjuk, még akkor is elképzelhetetlenül nagy számokhoz jutunk. Az időszakos üstökösök további bizonyítékot szolgáltathatnak arra, hogy a csóva alakulása anyagvesztéssel jár, mert ha újra megjelennek, többnyire igen jelentéktelenek.

Az elektromos taszítóerő oka a Nap elektrosztatikus töltése lehet, a melynek ZÖLLNER számítása szerint éppen nem kell nagy lennie. Az üstökösök összes jelenségeit így visszavezettük az elektromos taszításnak arra a legegyszerűbb alakjára, a melyet a megdörzsölt pecsétviaszrúd az elszigetelten felfüggesztett bodzabélgolyóra kifejt.

A Nap elektrosztatikai töltésének másféle határozott és kétségtelen megnyilvánulását nem ismerjük ugyan, de talán fordítva a BREDICHIN-féle elméletnek megegyezése az üstökösön észlelt jelenségekkel, elég arra, hogy elektromos töltésre következtessünk. Az üstökösökön végbemenő elektromos folyamatokra utal az is, hogy az üstökösök gázainak saját fényük van, mikor a Naptól

olyan messze vannak, hogy az izzáshoz szükséges hőmérséklet sugárzás folytán nem állhat elő. De lehet, hogy nem a Nap töltésének megosztó hatása ennek az oka, hanem esetleg az üstökös belsejében végbemenő jelenségek, a melyek a kiáramlásokkal függnek össze. Tudjuk, hogy sok anyag nagyon alacsony hőmérsékleten foszforeszkál. Erre is lehetne az üstökösöknél gondolni. De ennek ellenmond az a tapasztalat, hogy a szénhidrogén-sávok fényessége nő, mikor az üstökös a Naphoz közeledik, míg csak a nátrium vonalai elő nem tűnnek.

A BREDICHIN-féle elmélet megtartása mellett az elektromos taszítóerő helyett más természetű taszítóerőre is gondolhatunk. Az elektromágneses fényelmélet szerint ilyennek valóban kell hatnia fénynyomás alakjában.

MAXWELL következtetése szerint a fénysugár a terjedés irányában nyomást fejt ki, a mely valamely pontban akkora, mint az ott levő térfogategységnyi sugárzás-energia. Ez a nyomás általában igen kicsi. A Nap sugárzása  $1 \text{ m}^2$ -nyi, teljesen elnyelő (fekete) fölületre  $0.4$  milligram nyomást gyakorol, tökéletes tükörrre pedig kétszer akkorát. Ez ugyan nagyon kis érték, de nagy fölületen, mint pl. Földön, a nyomóerő jelentékeny lehet, legalább  $5$  millió kg. De a Nap vonzásához képest ez is elenyészően csekély. A fénynyomást kis értékénél fogva kísérletileg kimutatni igen nehéz, mert ugyanabban az irányban működik a sokkal nagyobb CROOKES-féle hatás, a mint a radiométernél látjuk. A nagyon ritkított levegőben levő könnyen mozgó lapátos kereket azok a légáramok forgatják, a melyeket a felületek fölmelegítése kelt.

LEBEDEW, de különösen NICHOLS és HULL az elméletileg megállapított fénynyomást olyan biztosan kimutatták, hogy létezése iránt többé nem lehet kétség. Egyúttal azt is meghatározták, hogyan függ a fénynyomás és tömegvonzás viszonya a besugárzott és a vonzott részecske felszínétől és tömegétől. A vonzás a test tömegétől függ, vagy ha a testek anyaga, vagy sűrűsége meg egyezik, a térfogattól. De gömbalaknál a térfogat a sugár köbével arányos, ellenben a felszín, a melyet a sugárzás ér, csak a sugár négyzetével. Olyan nagy gömbnél, a minő a Föld, a tömegvonzás és fénynyomás viszonya igen kicsi. Az átmérő folytonos kisebbsítésekor eljuthatunk olyan kis gömbhöz, a melynél a tömegvonzás egyenlő a fénynyomással. Ezt a részecskét a Nap sem nem



vonzza, sem nem taszítja, hanem a rész független a Naptól. Ez akkor következik be, ha egységnyi sűrűség mellett a gömb átmérője a hullámhossznak  $2^{1/2}$ -szerese. A sárga fény hullámhossza  $0.6 \mu$ , tehát az átmérőnek  $1.5 \mu$ -nak kell lennie. Ha a gömb még kisebb, akkor a fénynyomás a tömegvonzást fölülmulja, a Nap a részecskét taszítja. De ezt az okoskodást nem folytathatjuk bármeddig. SCHWARZSCHILD vizsgálatai szerint a taszítás akkor a legnagyobb, ha az átmérő a hullámhossz  $1/3$  része, tehát a mi példánkban  $0.18 \mu$  és ekkor a taszítás 18-szor akkora, mint a vonzóerő. Ha a gömb kisebbedik, akkor a fénynyomás gyorsan fogy. Mikor az átmérő  $0.12$ -szerese a hullámhossznak, a mi esetünkben  $0.07 \mu$ , akkor a vonzó és taszítóerő ismét egyenlő.

Tehát a taszítóerő csak kis részecskéknél, melyeknek mérete elég szűk határok között van, mulja fölül a vonzó erőt. A molekulák sokkal kisebbek az említett részeknél, azért arról szó sem lehet, hogy a fénynyomás a gázoknál észrevehető nagyságú. ARRHENIUS véleménye szerint a BREDICHIN-féle elméletben szereplő taszítóerő nem elektromos természetű, hanem a fénynyomásból ered. Az az anyag tehát, a melyet a fénynyomás a csóvába taszít, nem gáznemű, a különböző anyagoknál nem a molekulasúlyoknak, hanem a fajsúlyoknak viszonya, főleg pedig az egyes részek átmérője irányadó.

Tagadhatatlan, hogy az ARRHENIUS-SCHWARZSCHILD-féle üstökös-elmélet a BREDICHIN-féle csóvaalakokat egészen megtudja magyarázni, mert a fénynyomás a kis fajsúlyú részecskéken nagyságra nézve jól összeegyeztethető a megfigyelt taszítóerővel. De némely jelenség magyarázata már nehezebb. Így pl. az I. és II. típus között a taszítóerőben nagy ugrás van. Ha elektromos taszítást veszünk föl, akkor ez valószínű, sőt szükséges. Ellenben a fénynyomás-elméletben bajos elképzelni az ugrásszerű változást a részek nagyságában, különösen ha meggondoljuk, hogy a Nap sugárzásában nagyon különböző hullámhosszaknak van észrevehető energiájuk.

Az aránylag lassú, a bolygók mozgásánál is előforduló sebességgel lefolyó mozgások és változások az üstökös csóvájában legjobban bizonyítják a mechanikai elmélet helyességét. Eszerint a fej és csóva valóságosak, anyagi szerkezetűek, ezért véleményünk szerint már eleve el kell vetnünk minden olyan elmé-

letet, mely az üstökösök összes jelenségeit elektromos, vagy fényjelenségeknek minősíti, mert akkor minden változás a fény sebességével folynék le. Két ilyen föltevést röviden vegyünk szemügyre.

GOLDSTEIN kísérletileg olyan jelenségeket idézett elő, a melyek külsőleg hasonlítanak az üstökösök csóvájához. Ha nagyon ritkított levegőben elektromos kisülést keltünk, akkor bizonyos körülmények között a katódot halvány fény veszi körül. Ebbe a világító térbe helyezzünk idegen testet. A ráeső sugarak folytán felületéről másodlagos sugarak indulnak ki. Ezeket a katód taszítja. Így az üstökös csóvájához hasonló, meggörbült sugarak keletkeznek. Ha ezeket a viszonyokat az üstökösre át akarjuk vinni, akkor föl kellene tennünk, hogy a Napból katódsugaraknak nagyon hosszú nyalábja indul ki, az üstökös pedig az az idegen test, a mely a katód világító terébe került. Ekkor olyan másodlagos sugarak indulnának ki róla, a melyeket a katód, tehát a Nap taszít, a mint a csóvában látjuk. A kiáramlások és a csóva nem is volnának anyagi szerkezetűek, hanem csak fényjelenségek. De már említettük, hogy ez a felfogás a valóságban megfigyelt lassú mozgásoknak ellenmond.

BOYS magábanvéve igen szellemes üstökös-elméletet állított föl úgy, hogy a BREDICHIN-féle alapot megtartotta, de maga is nagyon tartózkodásra és óvatosságra int elméletével szemben. Abból a felfogásból indul ki, hogy az üstökös csóváját rádiumnak, vagy általában radioaktív anyagnak  $\alpha$ -sugárzásával lehet magyarázni. Már CHAMBERLIN gondolt ilyesféle összefüggésre, mert azt tette föl, hogy az árapály hatása az égitesteken a nehéz anyagot szétszakítja.

RUTHERFORD mérése szerint az  $\alpha$ -sugarak sebessége a fénysebességnek  $\frac{1}{12}$ -része. Héliumatómokból állanak, súlyuk és nagyságuk éppen kedvező a fénynyomásra nézve. Sebességük még mindig akkora, hogyha egyszer megkerülik a Földet, a vonzás következtében csak 15 m-rel közelednének felületéhez. Ellenben elektromos töltésük olyan nagy, hogyha elektromos erőterben csak néhány cm-t haladnak, pályájuk észrevehetően meggörbül. Ebből ki lehet számítani, hogy a Napon csekély elektrosztatikus töltés elég arra, hogy az  $\alpha$ -sugarak pályája még a Vénus távolságában is erősen meggörbüljön. Kissé nagyobb töltés esetén a Nap felé mozgó részecske iránya megfordulna és gyorsuló mozgással távoz-



nék, tehát csóva keletkeznék. Sebessége hamar elérné a fényét hacsak az anyag természete ilyen sebességnél nem változnék. Az elmélet szerint tehát részecskék indulnának ki a tömegük és töltésük viszonyának megfelelő határsebességgel és többé-kevésbbé élesen határolt csóvát hoznának létre. A csóva kettős, hármas, vagy többszörös, ha különböző természetű sugarak indulnak ki. A radioaktív anyagok ugyanis többféle sugárzást kelthetnek. A negatív töltésű sugarak, a milyeneket pl. a rádium bocsát ki, a Nap felé irányuló csóvát létesítenek. Ez a rendellenes csóva.

Az üstökös feje, vagy üstöke mindazokból a független pályán mozgó részekből keletkeznék, a melyek a magot minden irányban elhagyják. A pályák, a míg a részek sebessége olyan rendű, mint az  $\alpha$ -sugaraké, a Nap-felé domború hiperbola-alakúak. Az üstökösök színképét ilyen alapon könnyen meg lehetne magyarázni. Minden elektromos töltésű, gyorsulásnak alávetett ion energiát sugároz ki, illetőleg a gázokat fölmelegítés nélkül izzásba hozza. HUGGINS megfigyelte, hogy a rádium, ha levegővel érintkezik, a nitrogén színképét kelti. Az üstökösökben, a hol szénhidrogénnel érintkezik, ezeknek színképét hozza létre.

De Boys maga megjegyzi, hogy az üstökösökben a mozgások lassabbak és ezért értelmetlennek tűnhetne, hogy 4000—80 000-szer nagyobb sebességeket vegyünk számításba olyan hatások magyarázatára, a melyek két jelenségben egyformák. De ez nem okvetetlenül van így, mert a BREDICHIN-féle anyag részecskéi lassan válván le a magról és a Nap felé domború hiperbolán mozogván, a csóva azoknak az atomoknak pillanatnyi helyzetét mutatja, a melyek a magot bizonyos távolságra hátrafelé elhagyták. Ezzel szemben az üstökös a radioaktív sugarakhoz képest olyan lassan mozog, hogy a csóva valóban a pillanatnyi pálya gyanánt felfogható. Boys tehát lényegében teljesen elfogadja a BREDICHIN-féle anyagi elméletet, a radioaktív sugarak csak láthatóvá teszik a folyamatokat. De talán nem okvetetlenül szükséges a kérdést így bonyolítani.

Ha a Föld üstökös csóvaján megy át, a mint már többször megtörtént, akkor erősebb vagy gyengébb csillaghullás látszik. Tehát az üstökösök csóvajában kétségtelenül vannak kis testek. Ha ezek légkörünk felső, igen ritkított rétegén nagy sebességgel

áthaladnak, súrlódás következtében izzásba jönnek és elégnek, vagy szétporlanak. Másrészt a csillaghullások gyakorisága és évi visszatérése az égboltnak ugyanarról a tájáról, a sugárzó pontból, azt mutatja, hogy ilyen, elliptikus pályán mozgó, kis testekből álló rajok valóban vannak. Igen valószínű tehát az összefüggés a »meteorrajok« és a régi üstökösök között. SCHIAPARELLI igyekezett először megvilágítani ezt az összefüggést. Kimutatta, hogy kis testek gömbalakú halmaza, ha elliptikus pályán a Naphoz közeledik, a részek egymásra gyakorolt tömegvonzásának és a Nap vonzóerejének együttes hatása alatt megnyúlik. Ha a raj már ismételtten közeledett a Naphoz, akkor majdnem az egész pályára széteszik. De az így keletkező meteorraj igen keskeny, míg a valóságban a rajok nagyon szélesek, a mi abból következik, hogy a Föld sok órán, sőt napon keresztül halad át rajtuk. A rajok száma is igen nagy az elliptikus pályán mozgó üstökösökhöz képest. A meteorrajok keletkezését is BREDICHIN magyarázta meg teljesen. A rendellenes csóvát tekinti forrásuknak, a mint már említettük. Eddig ugyan csak kevés ilyen csóvát figyeltek meg és ezek is igen gyengék voltak. De éppen az utóbbi körülmény folytán valószínű, hogy ilyen csóvák gyakran fordulnak elő, vagy talán mindig, csak rendszeren olyan gyengék, hogy nem láthatók. BREDICHIN szerint kis részekből állnak, a melyek a gázáramokkal együtt a magot elhagyják, de nem fordulnak meg, mint a gázok, mert nagyságuknál fogva a taszítóerő észrevehető mértékben nem hat rájuk. Pályájuk tehát a mag parabola-mozgásának és a Nap felé irányuló lökésnek eredője, a minek oka, hogy a magból lökés hatására indultak ki. A lökés sebessége nagyjában akkora, mint a gázok kiáramlásának sebessége, tehát átlag 3 km másodpercenként.

BREDICHIN már most kiszámította, hogy még a parabolán mozgó üstökösöknél is a pálya bizonyos részében az eredő mozgás elliptikus, másutt hiperbolás, a mely utóbbi esetben a részek a naprendszerből eltávoznak. Az egyes részek különböző kezdősebességgel indulnak, a kiáramlás iránya is változó. Az egyes részek tehát észrevehető mértékben eltérő pályán mozognak és így a Nap körül meglehetősen széles gyűrű keletkezik a melyen belül az egyes pályák esnek. Mikor a Föld ilyen gyűrűn áthalad, hullócsillagokat látunk.



A hullócsillagok számából, a melyet a meteorraj, vagy üstökös-csóva metszésekor bizonyos idő alatt észlelünk, ki lehet számítani a részek eloszlásának sűrűségét. Példaképpen vegyük föl, hogy a látható égbolton másodpercenként egy hullócsillagot látunk. Tehát igen sűrű csillaghullásról van szó. Azt az átlagos magasságot, a melyben a hullócsillagok izzanak, vegyük 100 km-nek. Ily magasságból a Föld felületének mintegy 1000 km sugarú köralakú részét tekinthetjük át, de számítsunk csak 800 km-t, mert a horizon közelében a hullócsillagok kevésbé látszanak. Az áttekinthető felület tartalma tehát 2 millió  $\text{km}^3$ . A Föld mozgásának átlagos sebessége 30 km másodpercenként, a hullócsillagoké körülbelül 42 km, a Föld és a raj viszonylagos sebessége tehát 12 km, ha ugyanabban az irányban mozognak, és 72 km, ha ellenkező irányban haladnak. A számítás egyszerűsítése végett vegyük föl, hogy a viszonylagos mozgás iránya merőleges a látható égbolt felületére. Akkor az előbb említett felület másodpercenként 24—144 millió  $\text{km}^3$  térfogatot súrol. Minthogy másodpercenként egy hullócsillagot vettünk föl, tehát a raj azon a helyen, a hol a Föld metszi, 24—144 millió  $\text{km}^3$ -enként 1 testecskét tartalmaz. Még ha azt tesszük is föl, hogy az eddigi leg-sűrűbb csillaghullásnál a megfigyelő másodpercenként 100 hullócsillagot látott, még akkor is csak 1—4 részecske esik 1 millió  $\text{km}^3$ -re. A részek eloszlásának sűrűsége tehát mindig rendkívül kicsi.

Azt, hogy mekkora átlag egy-egy hullócsillag tömege, nem tudjuk megállapítani, mert a hullócsillag elég, vagy szétporlik, tehát nem esik egészen a Földre. Fényességökből azt következtetik, hogy csak néhány grammnyi tömegűek. Vegyi összetételüket sem ismerjük, mert abból a kevés színképelemzésből, a melyet hullócsillagokon végeztek, nem lehet biztos következtetést vonni. A színkép lényegében folytonos, izzó szilárd részekből ered. Azonkívül néhány világos vonal van benne, köztük a nátriumét és a mágneziumét vélték fölismerni. Könnyen beláthatjuk, hogy a hirtelen föltűnő és rövid ideig látható színképben méréseket nem lehet végezni. Sokan azt hiszik, hogy a hullócsillagok csak nagyságban különböznek a tulajdonképpeni meteoroktól, a melyek egészen, vagy részben a Földre esnek, de minőségben nem. Tehát a hullócsillagokban ugyanazokat az elemeket és vegyületeket kellene várnunk, a melyeket a meteorokban közvetlen vegyi vizsgálattal találtak. De meg

kell jegyeznünk, hogy csillaghullásnál olyan valóságos meteorokat, a melyek ugyanabból a sugárzópontból indultak ki, eddig nem észleltek. Ez a hullócsillagok és meteorok azonossága ellen szól. De az ellenmondás csak látszólagos. A gázáramok ugyanis csak a legkisebb részeket ragadják magukkal, csak ezek jutnak az üstökös csóvájába, vagy a gyűrűs rajba. A nagyobb részek a magban maradnak és csak akkor lehetne őket észlelni, ha a Föld egyszer nagyobb üstökös magjával találkozna.

De a meteorok és a hullócsillagok, illetőleg a hullócsillagokat létesítő üstökösök között mégis van lényeges különbség. Minden meteor kifejezetten hiperbolás pályán jut naprendszerünkbe, az üstökösök ellenben parabolás, vagy ehhez közel eső pályán, hacsak a bolygók ki nem térítették őket útjukból.

Ha az eddigiekre visszapillantunk, akkor nem tagadhatjuk azt a benyomásunkat, hogy az üstökösök titokzatos jelenségeit nagy valószínűséggel megoldottuk és hogy jóval többet tudunk az üstökösökben végbemenő folyamatokról, mint a bolygókról. Azt a kérdést, honnan erednek az üstökösök, egészen mellőzzük, mert egyáltalában nem tudunk rá felelni. De azonkívül is még nagy hézag marad, t. i. nem ismerjük az üstökösök tulajdonképpeni lényegét. Hogyan képzeljük el az üstököst a szabad világűrben, teljesen naprendszerünkön kívül? A kérdés megoldására csak visszafelé következtethetünk a megfigyelésekből, extrapolálhatunk, ebben pedig mindig van valami bizonytalanság. De ha ezt az utat követjük, akkor arra az eredményre jutunk, hogy az üstökös lényegében a legkülönbözőbb nagyságú, különálló meteorok gömbalakú halmaz. Hideg állapotban a meteorok elnyelt gázokat tartalmaznak. Mikor az üstökösök a Naphoz közelednek, a felmelegedés következtében a gázok részben kilépnek, kitöltik és körülveszik a tulajdonképpeni halmazt. Az üstökös a felfedezéskor halvány kerek ködfoltnak látszik, melynek magját többé-kevésbé meg lehet különböztetni. A mag főleg a nagyobb meteorokból áll. A közeledésnél egyre több gáz lép ki, esetleg olyan heves áramok, sőt robbanások állnak elő, hogy az üstökös két vagy több részre oszlik. A Naptól eltaszított gázokból és a velük ragadott, esetleg a fénynyomástól is mozgatott legkisebb részecskékből a csóva és az ellipszis-pályán mozgó meteorgyűrű keletkezik.



*Az állatövi fény.* Az állatövi fény különösen tavasszal látszik jól. A mi vidékünkön ferde gúla alakja van, fényessége a tengely irányában a legnagyobb, innen kezdve pedig az elmosódott szélek felé csökken. Úgy látszik, hogy a tengely az ekliptikában van. DOBERCK újabb megfigyelései szerint, ha az állatövi fényt nyúlt ellipszisnek tekintjük, fél nagy tengelye  $55^\circ$ , fél kis tengelye pedig  $8^\circ$  hosszú, míg föltevés szerint az ellipszis középpontja a Napba esik.

WOLF-nak fotografiai úton kapott eredményei, ha mindjárt csak ideiglenesek is, megingatták azt az elterjedt véleményt, hogy a nagy tengely az ekliptikába esik. Sikerült neki az állatövi fényt részletenként lefotografálnia és a részleteknek legfényesebb helyeit meghatározni. Ekkor kitudt, hogy 1900. márczius végén a legfényesebb hely  $6^\circ$ -kal az ekliptika fölött volt, tehát inkább vonatkozásba hozható a *Nap* egyenlítőjével, mint az ekliptikával.

BROSEN 1855-ben az égbolton a Nappal éppen szemben levő fényesebb helyet vett észre, a melyet már a 19. század elején HUMBOLDT is megfigyelt. Helyzete miatt ellenfénynek (*Gegenschein*; *counter glow*) nevezték és az állatövi fényvel összefüggésben levőnek tekintették. A viszfény nagyon halvány, körülbelül  $20^\circ$  átmérőjű ellipszis. Egyesek halvány sávot láttak, a mely az állatövi fényvel köti össze. BAYLDON nemrégiben igen kedvező viszonyok között figyelte az állatövi fényt, t. i. a tengeren. Itt a megfigyelő leginkább van védve az idegen fénytől, a mely a légkört megvilágítja. BAYLDON az állatövi fényt  $30^\circ$ -nyi széles sávnak látta, a mely az egész égbolton végighúzódik. Az ellenfény mint  $15^\circ$ -nyi hosszú fényesebb ellipszis beleesik. A sáv középvonala  $4^\circ$ -kal hajlott az ekliptikához.

Az állatövi fény fényességére vonatkozó adatok igen eltérők. Egyesek meg éppen azt állítják, hogy fényessége évenként tetemesen változik. BURNS ékfotometerrel megállapította, hogy az állatövi fény legfényesebb helyének fényessége körülbelül kétszerakkora, mint a sötét égbolté. De a fényességmérések nem nagyon megbízhatók, még a jelenségen belül sem, mert az állatövi fény közel van a horizonhoz, itt pedig a légkör kioltó hatása változó és nagyon befolyásolja a mérést.

A színeképelemzés eredményei eleinte egymásnak látszólag ellenmondottak. Egyesek tiszta folytonos színeképet találtak, mások ellenben a sarki fény zöld vonalát is fel tudták ismerni az állat-

övi fény színképében. De csakhamar észrevettük, hogy az északi fénynek zöld vonala csak akkor látszik az állatövi fény színképében, ha az égbolt más helyein is mutatkozik. Ma már tudjuk, hogy a sarki fény zöld vonala gyakran megjelenik olyankor is, mikor nem látszik feltűnő északi fény. Kétségtelen, hogy az állatövi fénynek csak folytonos színképe van, melynek határain a hullámhossz  $\lambda 4500$  és  $5800$ . A legfényesebb hely  $\lambda 5570$  hullámhossznál van. Könnyen megmagyarázhatjuk, miért lehet a zöld vonalat olyankor is látni, a mikor észrevehető északi fény nincs. Ugyanis az északi fény egyszínű, tehát a spektroszkóp nem gyengíti fényét, ellenben a kevésbé fényes égbolt a spektroszkópban nem látszik. A legfényesebb hely az állatövi fény színképében a sárgától a  $\lambda 5570$  hullámhosszra tolódik el. De ez sem az állatövi fény sajátága, hanem a PURKINJE-féle jelenséggel megegyezően a fény gyengeségének következménye. Azt nem tudjuk eldönteni, hogy a folytonos színkép saját fénytől ered-e, vagy a Nap visszavert fényétől. Az utóbbi esetben a FRAUNHOFER-féle vonalaknak kellene látszaniok, de a színkép sokkal gyengébb, semhogy a fekete vonalakat meg lehetne találni.

Mint látjuk, az állatövi fényről vajmi kevés biztosat tudunk. Azt sem tudjuk határozottan, hogy tengelye az ekliptikával esik-e össze, vagy a Nap egyenlítőjével. Ezért nincs benne semmi különös, hogy az állatövi fényt igen különböző föltevésekkel akarták magyarázni. A föltevéseket két csoportba oszthatjuk. Az egyik szerint az állatövi fény a Föld közelebbi környezetébe tartozó jelenség, tehát tágabb értelemben légköri jelenség. Ezeket a föltevéseket ma már megcáfoltnak vehetjük, úgy hogy csak a második csoportba tartozó föltevések maradnak meg. Ezek az állatövi fényt a Naphoz tartozónak tekintik, de még mindig két lehetőséget engednek meg. Az első szerint az állatövi fény és a visszfény összetartoznak, a második szerint ez a két jelenség egymástól független.

Az eddigi föltevések közül a legegyszerűbb és legvalószínűbb, hogy az állatövi fény a Napot körülvevő és lényegében az egyenlítőjével összeeső lapos korong, mely kozmikus porral, illetőleg meteorrészekkékké van kitöltve és messze a Föld pályáján túlterjed. Anyaga olyan ritka, hogy a bolygók és üstökösök mozgásával szemben észrevehető ellenállást nem fejt ki. De arra elég,



hogy a napfényt gyengén visszaverje. Az állatövi fényt ily módon könnyű magyarázni. Az ellenfényre nézve az a nehézség, hogy LAMBERT törvénye szerint a Nappal szemben levő helyen a fényesség nem növekedhet. De SEELIGER kimutatta, hogy a LOMMEL-SEELIGER-féle törvény szerint az ellenfény helyén csakugyan gyenge fénymaximumnak kell lennie. Ez a magyarázat megegyezik avval a megfigyeléssel is, hogy az egész égbolton gyengén fénylő sáv vonul végig. BARNARD elmélete szintén összhangzásban van evvel a tapasztalattal, de nem magyarázza meg az állatövi fény külső alakját. BARNARD szerint az ellenfény az aszteroidák gyűrűjét kitöltő sok ezer legkisebb bolygó visszavert fénye. Magának az állatköri fénynek fennt adott magyarázatát ez nem érinti.

STONEV azt a véleményét nyilvánította, hogy a Föld a légkör legkönnyebb elemeiből álló csóvát hagy maga után pályájában. A csóva tehát főleg hidrogénből és héliumból áll. EVERSLED arra figyelmeztet, hogy ez a csóva látszhatnék mint ellenfény a Nap fényében, de akkor a Föld árnyékát az ellenfény közepén sötét foltnak kellene látni. EVERSLED evvel az ellenvetéssel szemben azt az újabb föltevést vezette be, hogy a csóva igen hosszú, több mint 20 millió km, tehát a Föld árnyéka a messzebb eső részeket nem éri el, ezért nem mutat az ellenfény parallaxist sem, mert csak a legközelebbi részeken volna érezhető a parallaxis, de ezeket éppen a Föld árnyéka elfedi. EVERSLED felfogása ellen igen nyomós kifogást emel BARNARD, hogy t. i. a viszfény 20<sup>0</sup>-nyi kiterjedése túlságos nagy arra, hogy a Föld csóvájának lehessen tekinteni. CHRISTIAN meg EVERSLED elméletét avval a föltevással bővítette ki, hogy a Föld csóvája nem visszavert fényben világít, hanem meteorok vonulnak át rajta és izzásba hozzák.

Biztosat most még nem mondhatunk az állatövi fény lényegéről és esetleges összefüggéséről a viszfénnyel. Egyelőre legvalószínűbb az a fennt említett föltevés, melyet SEELIGER elméletileg kidolgozott.

## NYOLCZADIK SZAKASZ.

### HUSZONHARMADIK FEJEZET.

#### A ködfoltok.

Azt a számos és sokféle alakú, legtöbbször gyenge fényű égitestet, a melynek a csillagokkal ellentétben észrevehető átmérője van, ködfoltnak, vagy csillaghalmaznak nevezzük. Csillaghalmaznak akkor, ha fel lehet ismerni, hogy egyes csillagokból áll. A megkülönböztetés nem lehet szigorú, mert lehet, hogy az, a mit kis távcsőben folytonos ködfoltnak látunk, hatalmas eszközben csillaghalmaznak bizonyul. Ez a bizonytalanság a legvilágosabban látszik a ködfoltok felfedezésének történetében. A 18. század végéig körülbelül 100 elmosódott ködfoltot ismertek, de természetükről keveset tudtak. Csak HERSCHEL WILLIAM vizsgálatai bővítették ki nem sejtett mértékben ezt a teret. HERSCHEL W. első katalógusában (1784) 466 új ködfolt van és 1802-ig az újonnan felfedezett ködfoltok száma már 2000-re emelkedett. Fia, HERSCHEL JOHN, a ki a déli égboltot is vizsgálta, 5096 ködfoltot és csillaghalmazt sorolt fel. A jelenleg ismeretes ködszerű égitestek számát pontosan nem mondhatjuk meg, de jóval több, mint 8000. A mint a távcsöveket egyre nagyobbították és tökéletesítették, mindig több és több foltot tudtak csillagokra felbontani, tehát egyre több ilyen égitest került a csillaghalmazok csoportjába, ezért érthető, ha általában föltették, hogy végül minden foltszerű testet fel lehet majd bontani, tehát csakis csillaghalmazok vannak, a ködfolt elnevezés pedig csak ideiglenes, eddig fel nem bontott csillaghalmazt jelent.

Ezt a felfogást hirtelen megváltoztatta 1864-ben HUGGINS-nak az a felfedezése, hogy egyes ködfoltok színeképében világos vonalak vannak. Ez az égitestek gáznemű természetének csatlakoztatlan



jele. A ködfolt elnevezés tehát fizikailag is helyes. A ködszerű égitesteket a színképelemzés alapján valóban szigorúan fel lehet osztani ködfoltokra és csillaghalmazokra. De eddig aránylag kevés esetben lehetett a beosztást elvégezni, mert a legtöbb ködszerű égitest fénye olyan gyenge, hogy színképét nem lehet vizsgálni. Más okok is nehezítik a beosztást. Ugyanis sokszor világosan felismerhető összefüggés van csillagok, illetőleg csillaghalmazok és ködök között. Tudniillik egyrészt a csillaghalmazokban ködszerű anyag van, vagy egyes csillagokat ködburok vesz körül, másrészt nagyobb és kiterjedtebb ködfoltokban különálló, hozzájuk tartozó csillagok vannak.

Az eddigi megfigyelésekből biztosra vehetjük hogy a csillaghalmazok száma jóval felülmulja a ködfoltokét. Az is kiderült, hogy a ködfoltoknak kétféle jellemző alakjuk van. Az első a bolygószerű és gyűrűs köd (a kettő lényegében ugyanaz). Többnyire kicsi, kerek, vagy ellipszis-alakú korong, széle fényesebb, közepén gyengébb fényű csillag van. A második csoport a nagy kiterjedésű, bonyolult és egészen szabálytalan szerkezetű ködfoltok csoportja. Kivétel nélkül a csillaghalmazokhoz tartoznak azok a leggyakrabban előforduló kerek, vagy elliptikus égitestek, melyek nek fényessége közepük felé növekszik. Közülük többet már közvetlenül fel tudtak bontani. Ide tartoznak továbbá a spirális-alakú ködök is.

A következő táblázatban azokat a ködfoltokat találjuk, a melyek biztosan gázneműek, de a táblázat nem teljes. A legújabb ködfoltkatalógus a DREYER-féle New General Catalogue. Az első oszlopban a ködfolt sorszáma van a katalógus szerint. A következő két oszlop a ködfoltok helyzetét mutatja 1900-ban. Az utolsó oszlop röviden a ködfolt külsejét jellemzi. Látjuk, hogy a legtöbb ködfolt bolygószerű. Sok közülük olyan kicsi, hogy csillagoknak nézték. Természetüket csak a színképelemzés derítette ki. Legtöbbet köszönhetünk ezen a téren PICKERING-nek.

A gáznemű ködfoltok táblázata.

N. G. C.	Rektasz- czenzió 1900-0	Deklináció 1900-0	Megjegyzések
604	1h 28·9min	+ 30 <sup>0</sup> 16'	Nagyon kicsi, közepe fényesebb.
650—1	1 36·0	+ 51 4	Kettős ködfolt.
1032	2 34·2	+ 0 40	Nagyon kicsi.
1068	2 37·6	— 0 26	Meglehetősen nagy.
1325	3 20·1	— 21 53	
1514	4 3·0	+ 30 13	
1535	4 9·6	— 13 0	Bolygószerű.
—	5 22·9	— 12 46	»
1976	5 30·4	— 5 27	♂ Orionis
1977	5 30·5	— 4 54	c »
1980	5 30·5	— 5 59	t »
1982	5 30·6	— 5 20	c »
2022	5 36·6	+ 9 2	Bolygószerű.
2024	5 36·8	— 1 54	Nagy és szabálytalan.
2070	5 39·4	— 69 9	Igen fényes és nagy.
2392	7 23·3	+ 21 7	Kicsi, kerek.
2438	7 37·3	— 14 31	Bolygószerű.
2440	7 37·5	— 17 59	»
2792	9 8·7	— 42 1	»
2818	9 12·0	— 36 12	»
2867	9 18·6	— 57 53	»
3132	10 2·8	— 39 57	»
3211	10 14·6	— 62 11	»
3242	10 20·0	— 18 8	»
3372	10 41·2	— 59 9	Ködfolt az η Argus körül.
3587	11 9·0	+ 55 34	Bolygószerű.
3918	11 45·4	— 56 37	»
4361	12 19·4	— 18 13	Nagy
5315	13 47·0	— 66 2	Bolygószerű.
5873	15 6·3	— 37 43	»
5882	15 10 0	— 45 17	»
6153	16 24·6	— 40 1	»



N. G. C.	Rektasz- czenzió 1900·0	Deklináció 1900·0	Megjegyzések
6175	16 <sup>h</sup> 26 7 <sup>min</sup>	+ 40° 51'	Nagyon kicsi.
6210	16 40·3	+ 23 59	Bolygószerű.
6309	17 8·4	— 12 48	
6326	17 12·8	— 51 38	Bolygószerű.
6369	17 23·3	— 23 41	Gyűrűs köd.
6401	17 32·5	— 23 51	Elég nagy.
6439	17 42·5	— 16 27	Bolygószerű.
6514	17 56·3	— 23 2	Nagy és szabálytalan.
6523	17 57·6	— 24 23	Nagy és egészen szabálytalan.
6543	17 58·6	+ 66 38	Bolygószerű.
6537	17 59·3	— 19 51	»
6563	18 5·4	— 33 54	
6565	18 5·6	— 28 12	»
6572	18 7·2	+ 6 50	»
6577	18 7·9	— 19 6	»
6578	18 8·9	— 20 19	»
6618	18 15 0	— 16 53	Omega-ködfolt.
6620	18 15·6	— 26 53	Bolygószerű.
6629	18 19·6	— 23 15	
6644	18 26·4	— 25 13	Bolygószerű.
6744	18 49·9	+ 32 54	Gyűrűs ködfolt.
6741	18 57·5	— 0 35	Bolygószerű.
6772	19 9 4	— 2 53	
6778	19 13·1	— 1 48	»
6781	19 13·6	+ 6 21	»
6790	19 17·9	+ 1 19	»
6803	19 26·6	+ 9 52	»
6804	19 26·8	+ 9 1	Kicsi, sok csillaggal.
6807	19 29·7	+ 5 29	Bolygószerű.
6818	19 38·3	— 14 23	»
6826	19 42·1	+ 50 17	»
6833	19 46·9	+ 48 42	»
6853	19 55·3	+ 22 27	DUMBBELL-ködfolt.

N. G. C.	Rektasz- czenzió 1900·0	Deklináció 1900·0	Megjegyzések
6879	20 <sup>h</sup> 5·9 <sup>min</sup>	+ 16° 38'	Bolygószerű.
6881	20 7·2	+ 37 7	»
6884	20 7·3	+ 46 10	»
6886	20 8·3	+ 19 41	»
6891	20 10·4	+ 12 26	»
6894	20 12·4	+ 30 16	
6905	20 17·9	+ 19 47	»
7008	20 57·6	+ 54 10	Nagy.
7009	20 58·7	— 11 46	Bolygószerű.
7026	21 2·9	+ 47 27	»
7027	21 3·3	+ 41 50	»
7354	22 36·6	+ 60 46	»
7619	23 15·2	+ 7 39	Kicsi.
7662	23 21·1	+ 41 59	Bolygószerű.

A mint említettük, a ködfoltok a kis bolygószerű és a nagy, szabálytalan foltok csoportjára oszlanak. Először is ezeknek az égitesteknek külsejével akarunk foglalkozni. Ismereteink a ködfoltok alakjáról a fotográfia alkalmazása óta rendkívül bővültek, különösen a mi az alaki részleteket illeti. A ködfoltok általában igen gyöngye fényűek, fényességük még a legnagyobb távcső használatánál is a láthatóság alsó határához olyan közel van, hogy közvetlenül csak a legerősebb ellentéteket lehet észrevenni. De nem így a fotografus-lemezen, ha elég hosszú ideig exponáltuk. A fotográfiai felvételeken sokkal több részlet látszik, mint a mennyit a távcsőben föl lehet ismerni, ezért ma már a ködfoltok alakját csakis fotográfiával vizsgálják. A nagyobb ködfoltoknál a fotográfia alkalmazásának még más előnye is van: a látómező a szemmel való megfigyelés esetével szemben lényegesen bővül. Ha a köd az egész látómezőt kitölti, akkor az egész mezőt csak megvilágítja és csak a távcső gyors mozgatásával lehet a köd szélét észlelni. Ellenben a fotográfia nagy látómezejében a ködfoltot egész kiterjedésében egyszerre lehet látni. A fotográfia további előnye



az, hogy nincs túlsugárzás. Éppen a kiterjedt foltokban sok, gyakran igen fényes csillag van. Ezek szemünket vakítják. Még ha el is fedjük őket, megvilágítják a látómezőt és a ködfolt látását nehezítik. Így pl. fényes csillag közvetlen környezetében sohasem látunk ködöt, mintha itt a ködfoltban hézag volna. A fotografiánál ennek éppen fordítottja érvényesül, de kevésbé zavaró mértékben. A fényesebb csillag körül a lemez megfeketedik, még pedig magának a ködfoltnak hatására. De ezt a hatást lényegesen lehet csökkenteni, ha olyan lemezeket használunk, a melyeknek hátsó lapja a fényt nem veri vissza. Azonkívül pontosan meg lehet állapítani, hogy a megfeketedésből mit okozott a csillag fényének szétterjedése, mi rajta reális és mi származik a ködfolttól.

Meg kell itt jegyeznünk, hogy akár közvetlenül figyelünk meg ködfoltokat és csillagokat, akár fotografiai úton, a kétféle égitest fényességének viszonya nagymértékben függ a használt eszköz méretétől. Tehát különböző eszközökkel készített fotografiákból egészen eltérő eredményekre juthatunk.

Ennek oka a pontszerű és kiterjedt képek fényességének viszonyában rejlik (l. 326. lap). A gyakorlatban csakugyan elérhető követelmény, hogy a legkülönbözőbb nagyságú távcsövekben a csillagok képe egyenlő átmérőjű legyen, magával hozza, hogy a csillag fényessége csakis a távcső nyílásától függ, a nyílás négyzetével arányos, de nem függ a többi mérettől. De kiterjedt képeknél nem a távcső méretei szerepelnek, hanem a nyílásnak és a gyujtótávolságnak viszonya. Ha ez a viszony állandó, akkor a felületi fényesség is állandó. Másszóval, kiterjedt ködfolt láthatóságára nézve mindegy, hogy akár 1 m nyílású és 15 m gyujtótávolságú nagy távcsövet használunk, akár 10 cm nyílású és 1.5 m gyujtótávolságú kis távcsövet használunk szemlélésére vagy lefotografálására. Példán láthatjuk legjobban, mi következik ebből. Tegyük föl, hogy a ködfoltot, melyben csillag van, először 10 cm nyílású és 50 cm gyujtótávolságú rendes fotografus-lencsével fotografáljuk le, másodszor pedig 1 m nyílású és 20 m gyujtótávolságú nagy refraktorról. A két nyílás viszonya 1:10, tehát a csillag képeinek fényessége 1:100 arányú. A ködfolt képére nézve csak a nyílás és gyujtótávolság viszonya irányadó. Az első esetben ez a viszony  $\frac{1}{5}$ , a refraktornál  $\frac{1}{20}$ , tehát a ködfolt képeinek fényessége között az arány  $\frac{1}{5} : \frac{1}{20}$ , vagyis 4:1. A fotografus-

lencsével készített fölvételen a ködfolt 400-szor fényesebb a csillaghoz képest, mint a másikon. Az első esetben fényes ködfoltot kapunk gyenge csillaggal, a másodikban pedig fényes csillagot gyenge ködfolttal, a mely esetleg egyáltalában nem látszik. Hasonlók a viszonyok a közvetetlen megfigyelésnél. Ezeket a körülményeket főleg akkor kell tekintetbevenni, ha a foltok változását vizsgálják.

A bolygószerű ködfoltok kis, elliptikus, vagy kerek, gyenge fényű korongok, közepes nagyságú távcsőben majdnem egyenletes fényességűnek látszanak. A legkisebbek átmérője csak néhány ívmásodpercz, tehát alig lehet őket a csillagoktól megkülönböztetni. Az N. G. C. 4572 ködfolt átmérője szélsőségesen 40"-et ér el. A Lant gyűrűs ködfoltjának nagy tengelye körülbelül 80", a kis tengely 60". Tehát látszólag kis égitestekről van szó, úgy hogy részleteket nehéz rajtuk megkülönböztetni. Nagy távcsövekben és fotografiákon inkább látszanak gyűrűs ködfoltoknak, közepükön kis csillag, vagy csillagszerű sűrűsödés van, a melynek fényessége esetleg nagyobb, mint a gyűrűé. Úgy látszik, hogy a sűrűsödés közepén kivétel nélkül megvan. Ebből következik, hogy ez a ködfoltnak fizikailag lényeges része. SCHEINER az N. G. C. 7009 és 7662 ködfoltokon fotografiai úton megállapította, hogy a középponti sűrűsödést a gyűrűvel ködös sávok kötik össze. Az elsőnél a középpontból kiinduló sávoknak X alakjuk van, a másodiknál a mag hosszúkás és a külső gyűrűvel ködös nyúlványok kötik össze. SCHAEERLE szerint hasonló jelenség van, bár gyengébb mértékben, a Lant ködfoltjában. Állítólag két finom spirálisalakú ködsáv indul ki a magból, a sávok utóbb elágaznak, sőt egyes helyeken a gyűrűn túl nyúlnak. A gyűrűk a bolygószerű ködfoltoknál semmiesetre sem egyszerű, síma alakulatok. Gyakran több rétegből állnak. A Lant gyűrűs ködfoltjában a gyűrűnek azon részei, a melyek a nagy tengely végpontjába esnek, észrevehetően gyöngébb fényűek. Némelyek azt hiszik, hogy a gyűrűknek spirálisos szerkezetük van.

A bolygószerű ködfoltoknak feltűnően egyező külsejük van és eltérések a korongalaktól sohasem igen nagy, ezért arra gondolhatunk, hogy gömb-, vagy ellipszoid-alakú héjből álló égitestek, melyeknek középponti magjuk van. A gyűrű, vagyis a külső rész nagyobb fényessége eszerint úgy keletkezik, hogy itt a sugárzás sokkal vastagabb rétegből jut hozzánk, mint közepén.



A bolygószerű ködfoltok középponti csillagának természetét nehéz eldönteni, vajjon valóban csillag-e, vagy ködös sűrűsödés.

Említettük már, hogy a magot a gyűrűvel sávok kötik össze. Némelyik mag élesen látszik és csillaghoz hasonló, a másik elmosódott és ködszerű, különösen az N. G. C. 6572 ködfoltban. Már előre megemlítjük, hogy ezen magok színeke folytonos ugyan, de KEELER szerint a ködvonalak mint erős csomók látszanak benne. Az N. G. C. 6572 ködfoltnál a mag folytonos színeke fokozatosan a környező ködtömeg színekébe megy át. Mindezek alapján a magot valószínűleg aránylag igen sűrűsödött ködtömegnek kell tekintenünk, melynek átmérője igen kicsi, ezért néha csillagnak látszik. Van valami hasonlóság a ködfoltok magja és sok üstökösnek állócsillaghoz hasonló magja között.

A bolygószerű ködfoltok fotografiai képe mindig kicsi, a másolatnak igen nagyítottak kellene lennie, azért ezek a fölvételek közlésre nem alkalmasak.

Az égbolt fotografálása a legszebb diadalt a nagy ködfoltok terén aratta. Hozzávetőleges kiterjedésüket és alakjukat már közvetlen távcsövi észleléssel megállapították. De minden egyebet, különösen szerkezetük finomabb részleteit és a törvényszerűséget, a mely a ködfoltoknak látszólag rendezetlen tömegében megnyilvánul, a fotografia derítette ki. Pedig eleinte csak igénytelen kis eszközöket, fotografáló-gépeket, használtak és csak az utóbbi években alkalmaztak nagy parabola-alakú és rövid gyújtótávolságú tükrökkel szerelt reflektorokat, a melyek ezen a téren fölülmulhatatlan szolgálatot tettek.

A legérdekesebb ködfoltok közül néhánynak képét bemutattuk és röviden leírjuk.

1. Az  *$\eta$  Argus körül levő ködfolt*. A déli égbolton látszik, GILL fedezte föl a Jöreménység-fokon több éjjelre terjedő 25 órás fölvétellel 34 cm nyílású és 3.4 m gyújtótávolságú refraktoron. Felszíne több, mint 4 négyzetfoknyi, teljesen szabálytalan, szakadozott alakú. Feltűnő az ellentét a nagyon fényes részek és a közvetlenül mellettük levő sötét, látszólag ködfolttól egészen mentes részek között. Még csak nem is sejthetjük, milyen alakja van ennek a ködfoltnak a térben.

2. Az *Orion ködfoltja*. A nagy ködfoltok között a legismertebb és legszebb, szabad szemmel is látható, mint halvány, elmosó-

dott folt. Közepes nagyságú távcsőben körülbelül olyan, mint SCHEINER-nek fotográfiája, mely a potsdami csillagvizsgálónak fotografáló refraktorával készült  $3\frac{1}{2}$  óra alatt. A ködfolt a legfényesebb helyeken felhős szerkezetű, de ez a képen a túlexponálás miatt nem látszik, ezért a ködfoltban levő fényesebb csillagok, köztük az ismeretes trapéz sem láthatók.

A ködfolt alakjáról ebből a fölvételből nehéz fogalmat szereznünk. Törvényszerűséget csak a legfényesebb részből kiinduló meggyörbült sávokban láthatunk, mert sejthetjük, hogy erősebb fényű fölvételen a sávok gyűrű-alakban záródnak. Mint X. táblánkon látjuk, ez valóban így is van. A fölvétel RITCHEY-é, a Yerkes-csillagvizsgálónak 2 láb nyílású és 8 láb gyújtótávolságú, igen erős fényű refraktorával készült mindössze egy óra alatt. Világosan észrevehetjük, hogy a sávok gyűrűkben egyesülnek, ha mindjárt a gyűrűk nagyon szabálytalan alakúak is. De a ködfolt valóságos alakja aligha gyűrűs. Sokkal valószínűbb, hogy a sávok nem egy síkba esnek, hanem szabálytalan alakú, üres teret határolnak. Az Orion-köd alakja eszerint nagyjában gömbhéj. Egyik részén igen nagy mértékben sűrűsödik és a gömbhéjat alkotó sávok innen indulnak ki.

Egyébként, ha a valóságos viszonyokról akarunk fogalmat szereznünk, akkor meg kell gondolnunk, hogy a fotografiai fölvétel papirosmásolatán az ellentétek még közelítőleg sem helyesek. Úgy kell képzelnünk, hogy a legfényesebb részek fényessége néhány százszor nagyobb, mint a gyűrűt alkotó sávoké. Ha a sávok olyan fényesek lennének, mint a milyeneknek a papíroson látszanak, akkor a legfényesebb részek szemünket vakítanák. Ez a megjegyzés a ködfolt-képeknek majd minden másolatára áll.

Az Orion-ködben sok fényesebb és gyengébb csillag van, de egyelőre nem tudjuk róluk, hogy fizikailag a ködhöz tartoznak-e, vagy pedig csak éppen előtte, vagy mögötte vannak-e és csak éppen rávetítődnek a ködfoltra. A legtöbb csillagnál természetesen az utóbbi eset áll fenn. Ezt abból láthatjuk, hogyha a csillagok számát a ködfolt területén és környezetében összehasonlítjuk. Ha a csillag a ködfoltnak fényesebb helyén van, ez még nem elég arra, hogy a ködfolttal fizikailag összefüggőnek tekintsük. Az összeesés véletlen lehet. A ködfolt finomabb *szerkezetének* kell az összefüggést a csillaggal mutatnia. Fotografiai



úton ezt úgy lehet kimutatni, hogy a ködfoltot igen különböző ideig exponáljuk és a képeket egymással összehasonlítjuk. Ilyen módon SCHEINER-nek sikerült nagyon valószínűvé tennie, hogy néhány csillag a ködfolttal valóban összefügg. Így pl. az Orion-ködben félköralakú ködsávok vannak, az egyik a trapézben, a másik a külső részben és mindegyik sáv mind a két oldalán pontosan egy-egy csillagban végződik. Tehát négy hasonló jelenségről van szó és így nem igen gondolhatunk véletlenre. A nagy ködfolton kívül álló kisebb ködrészben fényes csillag van. Rövid idő alatt készült fölvételen ennek a foltnak első nyoma két sáv, a mely a csillagból indul ki és legyezőszerűen szétterül. A csillag középponti helyzetéből valószínű volt, hogy a köddel fizikailag összefügg, de az előbbi körülményből az összefüggést biztosra vehetjük.

Nemcsak asztrofizikai szempontból fontos, ha a csillagról bebizonyítjuk, hogy ködfolthoz tartozik, hanem magára a csillagászatra nézve is, mert így a ködfolt távolságát legalább nagyságrendjére nézve meg lehet ítélni. Az ilyen ködfoltnak állócsillagrendszerünkön belül kell lennie és nem kívül, a mint már gyakran föltették. A ködfoltoknak, helyesebben a csillaghalmazoknak bizonyos csoportja ellenben valószínűleg ezen a rendszeren kívül esik.

3. A *Plejádok köde*. A legtanulságosabb példa a ködfoltok és csillagok összefüggésére a Plejádok köde, a mely több más tekintetben is érdekes. Erősfényű távcsövekben közvetlenül megfigyelték, hogy a Plejádoknak néhány fényesebb csillagát köd burkolja. A fotografálás egészen váratlan eredményre vezetett. A Plejádok egyes csillagait, különösen a Meropé-t és Maját kifejezetten rostos szerkezetű ködburok veszi körül. A rostok egymással párhuzamosak, de részben görbültek. Irányuk az egyes ködökben eltérő. Ezenkívül az egész hátteret rostos, vagy sávós, szerkezetű, bonyolult hálózat borítja. Némelyik sáv elég világos és éles és összefüggése a csillagokkal kétségtelennek látszik. RITCHEY képéből, a melyet a Yerkes-csillagvizsgáló refraktorával készített, némi bepillantást nyerhetünk ezekbe a viszonyokba (XI. tábla).

Itt is bebizonyíthatjuk a köd és csillagok összetartozását, habár ez az előbbieket után alig szükséges. Rövid kinntartással készült képen a Merope-köd csak egyetlen rövid, de világos rostnak látszik, a mely nyélalakban indul ki a csillagból.





179. kép.



Az érdeklődést a Plejádok halmaza és sajátos ködek iránt még fokozza BARNARD és WOLF felfedezése, hogy a halmazt több négyzetfoknyi nagy kiterjedésben igen bonyolult szerkezetű, halvány ködfolt veszi körül. A Plejádoknak ez az úgynevezett külső köde olyan gyenge fényű, hogy csak a legnagyobb fényerejű távcsövekben néhány órás fölvételen látszik és ekkor is olyan halvány, hogy közvetlenül lemásolni nem lehet. WOLF néhány föl vétel után lerajzolta a külső ködöt (179. kép). A kép a főbb vonásokban helyes és hű, de a részletekben sok kétes és bizonytalan elem marad. CALVERT is lerajzolta a külső ködöt BARNARD képei után, rajza kevésbé részletes és általános vonásaiban egészen megegyezik WOLF-ével. Mindenesetre rendkívül nagy kiterjedésű és igen ritka eloszlású ködrendszerrel van szó. Közepén van a Plejádok halmaza, melynek egyik-másik csillagát nagyon sűrített ködtömeg veszi körül. Az egész köd állócsillag-rendszerünkbe esik.

4. Az *N. G. C. 6992 ködfolt a Hattyúban*. Ez a köd egészen sajátos égitest. RITCHEY fotografálta le a Yerkes-csillagvizsgáló refraktorával. A sávalakú ködfolt hossza több, mint  $1\frac{1}{3}^{\circ}$ , finom rostokból áll, a melyek bonyolult módon, néhol spirálisalakú vonalakban egymásba szövődnek. A czirrusz-felhők szálaiban láthatunk néha hasonló alakokat. Az égboltnak csillagokban gazdag vidékére esik, a csillagok eloszlása a ködben nem látszik sűrűbbnek, mint kívül. De azért találunk olyan csillagokat, a melyekből feltűnően sávok indulnak ki. A föl vételen olyanok ezek a csillagok, mint egyik oldalukon elmosódott kis pontok. A csillagok nagy számánál fogva lehetséges, hogy az összeesés véletlen.

A nagy ködfoltok, mióta fotografálással vizsgálják őket, fantasztikus alakjuknál fogva az égboltnak legérdekesebb, de egyzersmind legkevésbé ismert testei. Hiába igyekszik a kutató alakjukat és szerkezetüket ismert fizikai törvényekkel magyarázni. Egyelőre úgy látszik, csak a puszta önkény, vagy véletlen művei.

Már D'ARREST észrevette, hogy a nagy ködfoltok és a bolygószerű, tehát tulajdonképpen gáznemű ködök legnagyobb részét a Tejútba esnek, a csillaghalmazok ellenben kívül. Táblázatunk 79 gáznemű köde közül 61, tehát majdnem 80% a Tejútban, vagy közelében van. Szóval a ködfoltok ugyanolyan törvény

szerint oszlanak el az égbolton, mint a csillagok. Ez általánosságban igazolja azt az összefüggést, a melyet a nagy ködfoltok és a csillagok között találtunk.

*A ködfoltok színe.* A ködfoltok színe folytonos színeképéből és fényes vonalakból áll. A folytonos és vonalas színekép fényességének viszonyáról általában semmit sem mondhatunk, mert ez a viszony a spektroszkóp színszórásától függ. Nagyon gyöngye színszórásnál a folytonos színekép aránylag erős. Nagyobb színszórásnál erősen gyöngül, sőt esetleg egészen el is tűnik, ellenben a vonalas színekép fényessége majdnem állandó marad, nagyobb színszórásnál csak kissé csökken és pedig az elnyelés és visszaverődés okozta nagyobb fényvesztés miatt. De azért kétségtelen, hogy a kétféle színekép fényességének viszonya az egyes ködöknél eltérő. Némely ködönél a folytonos színekép talán egészen hiányzik. A vonalas színekép a látható részben főleg három vonalból áll, hullámhosszuk  $\lambda$  5007, 4959 és 4862. Az első vonal mindig a legfényesebb. A harmadik vonalról mindjárt fölfedezése után megállapították, hogy a hidrogén  $H_\beta$  vonalával, vagy a Nap színekének  $F$ -vonalaival azonos. A másik két vonal eredetét nem sikerült kideríteni, bár hullámhosszukat igen gondosan megmérték. Eleinte azt hitték, hogy az első vonal a nitrogén egy kettős vonalának egyik összetevőjével azonos. Később LOCKYER azt gondolta, hogy a magnézium egyik sávjának fényes határvonalával esik össze, de az újabb, pontosabb mérések nem igazolták ezt a két föltevést. A második vonal eredetét sem lehetett megállapítani. A hidrogén  $H_\beta$  vonalának jelenlétéből következik, hogy a hidrogén többi vonalának is meg kell lennie a ködfoltok színekében. Valóban mindjárt az első megfigyelők fölismerték a  $H_\gamma$  vonalat, ha gyengén is. A színekép fotográfiái a hidrogénnek azon vonalait is kimutatták, a melyek az ibolyaszínű részbe esnek, de a különben annyira fényes  $H_\alpha$  vonalat általában nem látták, csak egyesek találták meg nagynehezen. A színeképben optikai, de főleg fotográfiai úton még számos gyenge vonalat találtak s részben eredetüket is megállapították, de kérdéses, vajjon reálisak-e azok a vonalak, a melyeket csak egy megfigyelő észlelt, vagy melyeket csak egy lemezen láttak. A ködfoltok színekének ismert vonalait a következő táblázatban találjuk, de a kétes vonalak hiányzanak belőle.



Hullám- hossz	Intenzitás	Elem	Megfigyelő
6563·05	Nagyon gyenge	$H_{\alpha}$	KEELER, CAMPBELL
5876	» »	$He (D_3)$	CAMPBELL, KEELER, CAMPBELL
5400	» »	—	KEELER, CAMPBELL
5183	» »	—	VOGEL, CAMPBELL
5007·06	Nagyon fényes	—, 1. fővonal	HUGGINS
4959·02	Fényes	—, 2. »	HUGGINS
4861·50	»	$H_{\beta}$ , 3. »	HUGGINS
4687	Gyenge	—	HUGGINS, COPELAND, CAMPBELL
4472·06	»	$He$	COPELAND, CAMPBELL
4389	Elég fényes	$He$	
4340·66	» »	$H_{\gamma}$	HUGGINS, VOGEL
4230			
4145	Gyenge	$He?$	HUGGINS, CAMPBELL
4122	»	$He?$	HUGGINS, CAMPBELL
4101·85	Nagyon fényes	$H_{\delta}$	DRAPER, CAMPBELL
4067			
4026	Gyenge	$He$	CAMPBELL
3969	Fényes	$H_{\varepsilon}$	CAMPBELL
3889	»	$H_{\zeta}$ és $He$	HUGGINS, CAMPBELL
3868	Elég fényes	$He$	HUGGINS, CAMPBELL
3836	» »	$H_{\eta}$	CAMPBELL
3795	» »	$H_{\theta}$	CAMPBELL
3727	Nagyon fényes	—	HUGGINS, CAMPBELL

A táblázatból látjuk, hogy a ködfoltokban legalább háromféle gáz van. Közülök a hidrogén és hélium ismeretesek. Nem valószínű, hogy a többi vonal egyetlenegy gáztól ered. Bizonyára több ismeretlen gáz van a ködfoltokban.

A ködfoltok színeképében különösen a hidrogén-vonalakat vizsgálták sokan. A hidrogénnek GEISSLER-féle csővel előállított közönséges színeképében a vörös  $H_{\alpha}$  vonal a legerősebb, utána következik a  $H_{\beta}$  vonal, majd a többi vonal a kék felé, a meddig a vonal egyáltalában a látható színeképbe esik. De a ködfoltoknál

a hidrogén színeképe egészen másképpen alakul. Itt a  $H_\beta$  vonal a legerősebb, utána következik a  $H_\gamma$ , a  $H_\alpha$  pedig többnyire egyáltalában nem látszik, vagy csak nagyon gyengén. A legutóbbi időkig azt vették föl az eltérés okául, hogy a hidrogén a GEISSLER-féle csőben és a ködfoltban különböző fizikai viszonyok között világít. Ilyen különbség valószínűleg van is. A GEISSLER-féle csőben a hidrogént elektromos kisülések teszik világítóvá, a külső hőmérséklet aránylag magas, a gáz sűrűsége pedig a ritkítás ellenére még elég nagy. A ködfoltokban a világítás okát egyáltalában nem ismerjük. A külső hőmérséklet igen alacsony, t. i. a világűr hőmérséklete, a gáz sűrűsége minden elképzelhető határon alul van, mindenesetre sok ezerszer kisebb, mint a GEISSLER-féle csövekben. A világítás a rendkívül kis sűrűség miatt magában véve igen gyenge, csak azért vehető észre, mert a réteg igen vastag, sok millió km-nyi. Kísérletileg hasonló viszonyokat persze nem tudunk előállítani, de némelyik körülményt jól megközelíthetünk.

ZÖLLNER elméletileg kimutatta, hogy minden vonalas színképből egyetlen vonal marad, ha fényerősségét akár a hőmérséklet csökkentésével, akár a gázok ritkításával, vagy a világító réteg vastagságának kisebbitésével gyengítjük. Kísérletileg a réteg vastagságát, vagy a fényerősséget legegyszerűbben úgy csökkenthetjük, hogy a cső távolságát növeljük, vagy pedig közömbös elnyelő üveget iktatunk közbe. Ilyen módon LOCKYER és FRANKLAND 1868-ban olyan hidrogén-színképet állítottak elő, a melyben csak a  $H_\beta$  vonal volt meg. HUGGINS is kimutatta, hogy a fényerősségnek szubjektív kisebbitésével a bonyolult nitrogén-színképből csak egyetlen vonal marad a zöldben.

A második föltételt, a nagyon alacsony külső hőmérsékletet, kísérletileg szintén elég jól meg lehet közelíteni. KOCH 1889-ben szilárd szénsav és éter keverékével  $-80^\circ$  és  $-100^\circ$  közt levő hőmérsékletet állított elő és kimutatta, hogy a hidrogén színeképe ennél a külső hőmérsékletnél nem változott. SCHEINER folyékony levegővel a vizsgálatot  $-200^\circ$ -ig terjesztette ki, még pedig a következő módon: Hidrogénnel töltött GEISSLER-féle csövet közvetlenül folyékony levegőbe mártott és TESLA-féle nagy feszültségű transzformátor terében tette világítóvá. A gázt egyfolytában mindig csak rövid ideig izzította, hogy hőmérséklete ne emelkedjék. SCHEINER



az egyes kisüléseknél felvillanó színeképet figyelte meg. A folyékony levegő felett a levegőt folyton szivattyúzta, és így a hidrogén hőmérséklete aligha emelkedett  $-200^{\circ}$  fölé, tehát elég közel volt az abszolút nullaponthoz. De a hidrogén színeképében az egyes vonalak viszonylagos erőssége nem változott. Ez az eredmény teljesen megegyezik az elektromos úton izzított gázok világítására vonatkozó újabb felfogásunkkal. Eszerint a vonalas színeképet a molekulán belül végbemenő mozgás kelti, tehát a színekép a külső hőmérséklettől független.

A ködfoltokban az izzás okát nem ismerjük, tehát a kísérleti vizsgálat, hogy a különböző mértékű izzításnak milyen hatása van a különböző hidrogén-színekép vonalainak viszonylagos fényességére, nem mondhat sokat. Mi legfeljebb különböző fokú elektromos izzítást kelthetünk és SCHEINER végzett néhány ilyen kísérletet. Spektrofotométerben az okulár rése segítségével a petróleumláng folytonos színeképéből a  $H_{\alpha}$  és  $H_{\beta}$  vonalak helyén finom mesterséges vonalakat különített el. Külsejük olyan volt, mint a hajszálcsőbe zárt hidrogén színeképében. SCHEINER megmérte a fényesség-különbséget a mesterséges vonalak és a hidrogén vonalai között. Az izzítást először nagy induktorral idézte elő, másodszor pedig gyenge elektromos hullámokkal. Ekkor a fényesség csak  $\frac{1}{50}$  része volt az előbbinek. De a vonalak viszonylagos erősségében még sem látszott semmiféle változás.

Ezek a vizsgálatok tehát nem támogatják azt a felfogást, hogy a kísérleti feltételek módosításával a  $H_{\alpha}$  és  $H_{\beta}$  vonalak viszonylagos erősségét változtatni lehet. Ezért a viszonylagos fényerősség változását a szubjektív fényesség csökkenésekor tisztán fiziológiai hatásnak kell tulajdonítani. A magyarázatot EBERT, utóbb tőle függetlenül SCHEINER találta meg a többször említett PURKINJE-féle jelenség alapján. A rendes szem nagy fényerősségnél a sárgában levő szín iránt a legérzékenyebb. PURKINJE szerint a fényerősség csökkenésekor ez a hely a színekép zöld színében levő hely felé közeledik. A maximumnak ez az eltolódása természetesen a szomszédos színeképrésekre is hat. Nagy fényerősségnél a vörös világosabbnak látszik, mint a zöld. Olyan kis fényerősségnél, a milyen a ködfoltokban van, ellenkezőleg a zöld tűnik világosabbnak, mint a vörös. SCHEINER kísérletei mu-

tatják, milyen nagyok a változások. Ezeket a kísérleteket a következő módon hajtotta végre: Hidrogénnel telt GEISSLER-féle csövet a tiszta látás távolságában helyezett el és egyenes látású prizma-rendszerrel figyelt. A cső hajszálrészében mindig három vonal látszott, a vörös, zöld és kék hidrogén-vonal. A vörös mindig a legerősebb volt. Majd a sugarak útjába két NICOL-féle prizmát tett, az egyiket lemérhető szöggel forgatni lehetett, s így a fényt tet-szés szerint gyengíthette. A fényerősség csökkenésekor a vörös és a zöld vonal egyenlő erők lettek, majd a  $H_\alpha$  eltűnt, végül pedig a  $H_\beta$ . Egészséges szemnél a fényt a  $H_\alpha$  eltűnése után még 8—30-szorosával kellett csökkenteni, míg a  $H_\beta$  is eltűnt. Színvak szemnél ez a viszony 150-re emelkedett.

Tehát a következő eredményre jutunk: A ködfolt színképében a  $H_\alpha$  vonal tisztán fiziológiai okokból látszik olyan gyengének és így nem szabad belőle arra következtetni, hogy az izzás milyen fizikai föltételek között jön létre.

A ködfoltok színképének első megfigyelői észrevették már, hogy a három vonal viszonylagos fényessége nem minden ködfoltban egyenlő, meg is becsülték a fényerősségek viszonyát. Utóbb a fényerősségeket mérni igyekeztek, de a fotométriának mai elvei szerint hasznavehető eredményre nem juthattak. Ha a fényerősségek különbsége igen kicsi lenne, akkor ARGELANDER ismertetett eljárása szerint (267. lap) lehetne sikeres becsléseket végezni. Nagyobb különbségeknél pusztán a szemmel nem lehet mérni.

De *általános* eredményeket a becslésekből levezethetünk. Így KEELER arra az eredményre jutott, hogy minden megfigyelt ködfoltban az első és második vonal viszonya állandó, de a harmadik igen különböző módon viselkedik. SCHEINER és WILSING több fényes ködfoltban spektrofotométerrel pontosan megmérték a három vonal fényességének viszonyát. KEELER-rel megegyezően arra az eredményre jutottak, hogy az első és második vonal fényességének viszonya az összes megvizsgált ködfoltok színképében valóban egyenlő, de az első és harmadik viszonya nagyon változó.

A következő táblázatban az első és harmadik vonal fényességének viszonyát találjuk. Az Orion-köd színképében a viszony a legnagyobb, ezt vettük egységnek.



Ködfolt	A fényesség viszonya	Ködfolt	A fényesség viszonya
Orion-ködfolt	1·00	N. G. C. 6210	0·47
N. G. C. 6543	0·75	7662	0·40
6826	0·61	7027	0·30
6572	0·55	6790	0·29
6891	0·48		

A fényerősségek viszonyának felsorolt különbségeit spektrofotometriai mérésekkel biztosan megállapították, de nem így magának a fényesség viszonyának értékét. Ezt csak az egyes vonalak hősugárzásának mérésével lehetne megkapni, tehát pl. bolométer segítségével. De a vonalak sugárzása olyan gyenge, hogy erre gondolni sem lehet. Hiszen a vonalak néha alig látszanak. De spektrofotometriai úton meg lehet mérni »a fényesség fiziológiai viszonyát«, vagyis azt, hogy hányszor fényesebbnek *látszik* az egyik vonal, mint a másik. A becslések is erre vonatkoztak. SCHEINER és WILSING megmérték a fényesség fiziológiai viszonyát is. Kitűnt, hogy minden ködfoltnál az első vonal négyszer fényesebb, mint a második. Az első és harmadik vonalra kapott viszonyokat a következő tábla mutatja:

Ködfolt	A fényesség fiziológiai viszonya	D'ARREST
Orionköd	11 : 1	
N. G. C. 6543	15 : 1	2 : 1
6826	17 : 1	
6572	21 : 1	
6891	23 : 1	
6210	23 : 1	5 : 1
7662	27 : 1	
7027	36 : 1	
6790	40 : 1	

A harmadik oszlopban D'ARREST-nek becslés útján kapott értékeit találjuk. Ezek is igazolják azt az állításunkat, hogy az

ilyen becsléseknek nincs értékük, mert habár D'ARREST helyesen felismerte, hogy az N. G. C. 6543 ködfoltnál a viszony kisebb, mint az N. G. C. 6210 ködfoltnál, becslései kelleténél 4—7-szer kisebbek. Ugyancsak D'ARREST szerint az első és második vonal viszonya 5:3 az említett 4:1 helyett, tehát szintén 7-szer kisebb.

Biztosra vehetjük, hogy az első és második vonal fényességének viszonya állandó, ellenben az első és harmadik vonalé az egyes ködfoltoknál változó. Ez a ködfoltok ismeretére nézve nem lényegtelen. Ugyanis az következik belőle, hogy a hidrogén, a mely a harmadik vonalat kelti, az egyes ködfoltokban különböző viszonyok közt van. Nem lehet kétes, hogy itt a hidrogén viszonylagos mennyisége az ok. Az Orion-ködfoltban bizonyára több hidrogén van a többi gázokhoz viszonyítva, mint más ködfoltokban. De ha a ködfoltok gázkeverékében a hidrogén viszonylagos mennyisége változó, akkor nem valószínű, hogy a többi gáznál ilyen eltérés nincs. Ha tehát az első és második vonal két különböző gáztól ered, akkor nagyon valószínűtlen, hogy a két gáz tömegének viszonya minden ködfoltban ugyanaz. A két vonal viszonylagos fényességének állandó volta igen valószínűvé teszi, hogy a két vonal ugyanattól a gáztól ered. Ennek a gáznak természetét egyáltalában nem ismerjük, de az új csillagokról szóló fejezetben látni fogjuk, hogy ez a gáz nemcsak a ködfoltokban található fel.

Sokan vizsgálták, hogy a három vonal fényességének viszonya a kiterjedt ködfoltoknak, különösen az Orion-ködnél, különböző részeiben nem változik-e. A kapott eredmények egymásnak élesen ellenmondanak, tehát ezt a kérdést ma még nem tudjuk biztosan eldönteni. A megfigyelések igen nehezek, mert a ködfolt halványabb részeiben a vonalak igen gyengék. A láthatóság határán a fiziológiai hatásoknak is nagyobb szerepe van. Ha a ködfolt részeinek fényessége csökken, akkor a PURKINJE-féle jelenség következtében a vonalak fényességének viszonya eltolódik, tehát azt a különbséget, a melyet néhány csillagász megfigyelt, már ilyen módon meg lehet magyarázni. Ezért azt hitték, hogy a kérdést objektív úton úgy lehet eldönteni, hogy a ködfoltot különböző színek iránt érzékeny lemezekon lefotografálták, továbbá különböző színű fényszűrők segítségével. Így határozottan észrevehető különbségek mutatkoznak. De kevésbé vették figyelembe azt a körül-



ményt, hogy az eltérő szerkezetű fotografus-lemezeken is vannak »fiziológiai« különbségek. Az egyik lemezen kisebb fényesség-különbség elég arra, hogy a hatástalanság és a legnagyobb megfeketedés közti fokozatot kitöltse, mint a másik lemezen, ezért a fotografiai fényességek viszonya két lemezen egészen különböző lehet, még ha az exponálás időtartamának kellő megválasztásával el is értük, hogy *egy* bizonyos fokú megfeketedés a két lemezen egyenlő legyen.

A megfigyelő csillagászok eddig általában nem eléggé vették tekintetbe a szem fiziológiai tulajdonságait. Pedig ezeknek főleg a fotométriában fontos szerepük van, még pedig leginkább kis fényességek megfigyelésénél. Nemcsak a fényesség becslésére van hatásuk, hanem közvetve a méréseket is befolyásolhatják. Jellemző példa erre a következő: Ha a kis, bolygószerű ködfolt színeképét széles réssel figyeljük, akkor a ködfolt maga »rés« lesz, vagyis úgy, mint a protuberanciák észlelésénél, a három vonal helyén természetes alakjában látszik; tehát a ködfoltnak három képét látjuk egymás mellett. A harmadik, a mely a hidrogén-vonal helyén keletkezik, a leggyengébb. Azon a bolygószerű ködfolton, melynek rektaszczenziója  $5^h 22^m 9^s$ , deklinációja pedig  $-12^\circ 46'$ , észrevették, hogy a hidrogén-kép átmérője észrevehetően nagyobb, mint a másik kettőé. Ebből azt következtették, hogy a hidrogén a ködfoltban kifelé messzebb terjed, mint a többi gázok. A megfigyelés bizonyára helyes. De fizikai magyarázata nehezen érthető, a megfigyelést könnyebb a PURKINJE-féle jelenség alapján fiziológiai okokkal értelmezni. A fényesség a ködfolt középső részeiben aránylag nagy, az első két vonal itt észrevehetően erősebb, mint a harmadik. A gyengébb fényű széleken ez a viszony megfordulhat. A változás iránya megfelel a PURKINJE-féle jelenségnek. Tehát a külső részek a harmadik vonalban esetleg még láthatók, mikor az első két vonalban már eltűntek. Ekkor a harmadik vonal helyén a ködfolt látszólagos átmérője természetesen nagyobbnak tűnik fel, mint a másik két vonalnál.

A többször említett összefüggést a ködfoltok és csillagok között színekélelemzéssel is igazolni akarták. Különösen az Orion-ködben levő Trapézre nézve HUGGINS színekép-fölvételei, továbbá később SCHEINER-éi, világosan mutatják, hogy ha a rés a Trapéz valamelyik csillagára van beállítva, a csillag folytonos színeképében

a ködfolt vonalai erősebbek, csomóknak látszanak. HUGGINS azt következtette ebből, hogy ezek a csillagok a folytonos színeképen kívül maguk is kibocsátják a fényes vonalakat, tehát valóban a ködfolthoz tartoznak. De CAMPBELL közvetetlen megfigyelésekkel megállapította, hogy a Trapéz csillagainak színeképében fényes vonalak nem látszanak, hanem ellenkezőleg, sötétek, így a  $H_{\beta}$  vonal is. A vitás kérdést valószínűleg úgy kell megoldani, hogy a színeképek fotografiái nem alkalmasak ennek eldöntésére, mert a ködfoltok fényes vonalainak a fotografiákon erősebbeknek kell lenniök még akkor is, ha a csillagok színeképében a fényes vonalaknak nyomuk sincs. Vegyük föl azt a legkedvezőtlenebb esetet, hogy a Trapéz csillagjai a ködfolt előtt vannak, akkor elenyészően kis átmérőjük miatt a ködfoltnak észrevehető részét nem fedik el. Ha nem volna saját fényük, miattuk a ködfolt világos vonalai nem szakadnának meg. De a csillag fotografiájának nagyon is észrevehető átmérője van, tehát a csillag folytonos színeképének a ködfolt megszakítatlan vonalai fölé kell helyezkednie. Tehát a folytonos színeképben a ködfolt vonalait erősítve kapjuk. Ha egyébként a folytonos színekép olyan hosszú ideig készült, hogy a lemez már egészen megfeketedett, akkor a fényes vonalak esetleg már észre sem vehetők. Ez lehet a magyarázata annak, hogy a Trapéz csillagainak nem minden színeképfölvételén látszik az erősödés.

*A ködfoltok fotometrála.* A ködfoltok fényességére eddig kevés megbízható mérést végeztek. Részben azért, mert a gyenge fény miatt a mérés igen nehéz és csak nagy műszerekkel végezhető el. De főleg azért, mert a ködfoltok nagyságban, alakban és elmosódottságban igen különbözők és a bennük levő fényesebb csillagok száma is eltérő, ezért csak általános, durva becslésekre szorítkoztak, körülbelül úgy, mint a HERSCHEL-féle katalógusban találjuk.

HUGGINS végzett először méréseket. Néhány ködfoltot nagy távolságban égő gyertya fényével hasonlított össze. A ködfolt és gyertya fényességének viszonyára nézve a következő értékeket találta: az N. G. C. 7009 bolygószerű ködfoltnál  $\frac{1}{1508}$ , a Lant gyűrűs ködénél  $\frac{1}{6032}$ , a Dumbbell-ködfoltnál  $\frac{1}{19604}$ . Tehát a Lant ködfoltja 4-szer, a Dumbbell-ködfolt 13-szor gyengébb fényű, mint az N. G. C. 7009 bolygószerű ködfolt.



VILLIGER néhány ködfoltnak és csillaghalmaznak fényességét összehasonlította és a következő viszonzyszámokat találta.

Ködfolt	Fényesség	Megjegyzés
N. G. C. 7009 .....	1·00	Csillaghalmaz
Andromeda-köd .....	0·81	
N. G. C. 7662 .....	0·80	
N. G. C. 6826 .....	0·93	Csillaghalmaz
Csillaghalmaz a Herkulesben	0·30	
Gyűrűs köd a Lantban .....	0·22	
DUMBBELL-köd .....	0·10	

Mint látjuk, a gyűrűs ködfoltnál és a DUMBBELL-ködnél az értékek jól egyeznek HUGGINS eredményével.

SCHEINER és WILSING megmérték a három ködfoltvonal fényességének viszonyát. Az első és második vonal fényességének figyelembevételével meghatározták néhány nagyobb gáznemű ködfolt fényességének viszonyát. A harmadik vonal hatását elhanyagolták. De minthogy ez a vonal gyenge, hatása is kicsi. Éppen így mellőzték a folytonos színeképet keltő fényt is. Előre nem ítéltük meg, hogy ez a valóságos viszonyokat mennyire változtatja meg. A nagyságrendre és a fényesség viszonyára a következő értékeket kapták.

A ködfolt	Nagyságrend	A fényesség viszonya	PICKERING-féle nagyságrend
N. G. C. 6572	1·00	1 00	1·00
N. G. C. 7027	1·87	0·45	1·51
N. G. C. 6210	2·07	0·36	2·70
N. G. C. 6573	2·31	0·30	2·38
N. G. C. 7662	2·68	0·21	3·75
N. G. C. 6790	2·73	0·20	—
Orion-köd	3·26	0·12	—
N. G. C. 6826	3·47	0·10	3·93
N. G. C. 6891	3·90	0·07	—

Az utolsó oszlopban PICKERING fényességméréseit találjuk. A megegyezés nem valami jó, tehát valószínű, hogy a folytonos színekép hatását nem szabad elhanyagolnunk.

PICKERING újabban sok ködfoltot alávetett fotométriai méréseknek. A csillag képét a lencse eltolásával folyton nagyobbodó koronggá húzta szét, a míg a korong területi fényessége egyenlő volt a ködfoltéval, vagy a ködfolt vizsgált helyének fényességével. Az összes adatokat, hogy összehasonlíthatók legyenek, visszavezette 1' átmérőjű korongra. Tehát a ködnek azt az összfényességét fejezte ki, a melyet 1' átmérőjű korongja bocsátana ki. A legtöbb ködfolt ennél kisebb, a bolygószerű ködfolt mind kisebb, tehát a kapott adatok a valóságosnál nagyobbak. Például az N. G. C. 7027 ködfolt nagyságrendje a táblázatban 4·39, de átmérője csak 8". Az összes fényessége tehát 56-szor, vagy  $4\frac{1}{2}$  nagyságrenddel kisebb, vagyis a valóságban olyan a fényessége, mint a 9-edrendű csillagé.

PICKERING-nek a ködfoltok nagyságrendjére vonatkozó adatai a következők.

N. G. C.	Nagyságrend	N. G. C.	Nagyságrend	N. G. C.	Nagyságrend
1501	10·31	5576	8·98	6720	7·73
1535	6·12	5577	12·95	6772	12·46
2022	8·95	5746	11·13	6781	11·10
2438	10·32	5846	8·12	6818	6·81
2440	7·08	5904	6·10	6826	6·81
2818	10·15	6210	5·58	6853	9·60
3132	8·70	6229	7·77	6894	11·23
3242	5·97	6369	9·05	6905	8·94
3310	9·29	6543	5·26	7009	4·89
3587	11·07	6553	9·55	7026	9·45
5144	11·05	6563	9·82	7027	4·39
5247	10·82	6572	2·88	7302	11·18
5493	6·97	6629	7·22	7662	6·63
5574	10·87	6643	12·18	—	—



Ebből a táblázatból elég jó képet kapunk a ködfoltoknak általában igen kis fényességéről. Vannak köztük olyanok, melyeknek területi fényessége kisebb, mint a 10—12-edrendű csillagoknak 1 ívpercze széthúzott képe. Pedig ezek az itt felsorolt ködfoltok még a jól látható fényesebbek közé tartoznak.

Igen érdekes, de egyszersmind nagyon nehéz kérdés, vajjon a ködfoltok fényessége idővel változik-e? A kérdést azért nehéz eldönteni, mert a ködfoltokat különböző időben igen eltérő nagyságú távcsöveken figyelték. Kiterjedt égitestek megfigyelésénél, mint láttuk, kis távcső, vagy még inkább kis tükör erősebb fényű lehet, mint a legnagyobb refraktor. Kis üstököskereső, melynél a nyílás és a gyújtótávolság viszonya 1:8, ötször erősebb fényű, mint a LICK-csillagvizsgáló nagy refraktora, melynél ez a viszony 1:18, ha a gyújtópontban keletkező képek fényességét hasonlítjuk össze. De a fényesség a nagyítástól is függ, és a legtöbb esetben a láthatóság feltételei olyan bonyolultak, hogy utólag alig állapíthatók meg. Azt is tekintetbe kell vennünk, hogy a levegő átlátszósága is változik, ennek megítélésében pedig könnyen tévedhetünk. Nagy szerepe van a megfigyelő hangulatának is. Ha ugyanaz a megfigyelő ugyanazon a távcsövön különböző eredményre jut, még nem bizonyos, hogy az eltérés valóságos. KEELER helyesen jegyezte meg, hogy a ködfoltoknak egyik legügyesebb megfigyelője, TEMPEL is néha nagyot hibázott, a mennyiben ködfoltot és csillagokat rajzolt olyan helyen, ahol biztosan nincsenek. Másutt pedig valóban meglevő köd elkerülte figyelmét. Egy ködfolton, a melyet felfedezőjéről HIND-féle ködfoltnak neveznek, a legtöbb csillagász szerint biztosan megállapítottak változást. De még ezt is kétesnek kell tartanunk, mert a megfigyelések történeti összeállításánál kiemelik ugyan a távcsövek eltérő nagyságát, de nem különböző fényerősségüket. A HIND-féle ködfolt a Bika csillagképben van, egészen közel a  $T$  Tauri változó csillaghoz, átmérője  $\frac{1}{2}'$ . HIND 1852-ben fedezte fel. A következő évben több megfigyelő »részben közepes nagyságú eszközökkel« jól látta. D'ARREST 1855-ben és 1856-ban »nagyon fényesnek« mondta. SCHÖNFELD 1861-ben nem tudta megtalálni, maga D'ARREST sem. A LASSELL-féle reflektorban és a pulkowai refraktorban ekkor még látható volt, 1868-ban már Pulkovában sem találták meg. 1890-ben és 1895-ben BURNHAM és BARNARD a Lick-csillagvizsgáló

nagy refraktorában látták. Utóbb megint nem találták, 1900-ban pedig ugyanezen az eszközön AITKEN és PERRINE ismét látták. KEELER 1899-ben ezt a ködfoltot az erős fényű Crossley-reflektorral lefotografálta.

Mint említettük, az eddigi, röviden ismertetett anyag alapján a szóban forgó ködfolt fényességének változását csak nagy bizonytalansággal lehet megállapítani. Csak D'ARREST használja a »nagyon fényes« kifejezést, másutt mindenütt csak kis fényességről van szó, vagy egyáltalában nem látszott a ködfolt. A megfigyeléseket *T Tauri* fényes csillag közelsége is zavarja. Eddig még nem vizsgálták meg, nem ez-e az oka annak, hogy a ködfolt nem egyformán látszott.

Ha a ködfoltok fényességének változását elméletileg akarjuk értelmezni, akkor szintén leküzdhetetlen nehézségekbe ütközünk, mert a világítás okát nem ismerjük. Erre mindjárt részletesebben rátérünk. De akárhogy keletkezik a világítás, a ködfolt mindenestre nagy kiterjedésű égitest, térfogatát igen ritkított gázok töltik ki. A világítás olyan vastag rétegben jön létre, a melyen át a fény bizonyára napokig, vagy évekig halad. Mai felfogásunk szerint nem valószínű, hogy a kisugárzásban olyan változások állnak be, a melyek néhány év alatt észrevehetőek, mert ez az idő az előbbi méretekhez képest elenyészően kicsi. A ködfoltok alakjában eddig nem vettek észre változást és nem is lehet észrevenni, mert a színeképelemzés szerint a gázok a ködfoltokban csak néhány kilométeres sebességgel mozognak. Az új csillagok tárgyalásánál erre a kérdésre még visszatérünk.

Ha a gázokat laboratóriumban úgy akarjuk izzítani, hogy sajátos vonalas színeképüket lássuk, erre többféle eljárást használhatunk. De a belső folyamatok előttünk általában még homályosak.

Legegyszerűbbek a viszonyok a lángban. A szilárd testeknek, akár lángban, akár másképpen izzanak, tisztán hőmérsékleti sugárzásuk van, vagyis sugárzásuk módja csakis a hőmérséklettől és természetesen a test kibocsátóképességétől függ. Egyes fizikusok fölteszik, hogy a lángban a gázoknak is tisztán hőmérsékleti sugárzásuk van. Tehát KIRCHHOFF törvényét erre a sugárzásra is alkalmazhatjuk. Meg kell jegyeznünk, hogy eddig szigorú bizonyítékot e felfogás ellen nem hoztak fel. Mások megengedik



ugyan, hogy a gázoknak a lángban részben hőmérsékleti sugárzásuk van, de szerintük a világítás részben vegyi folyamatokból ered. A sugárzásnak ezt a részét vegyi luminisczcenciának nevezik. Ha a gázokat elektromos úton izzítjuk, akkor a gerjesztés módjait meg kell különböztetnünk. WIEDEMANN E. és SCHMIDT G. C. szerint, ha az ívfényben az áram erőssége változik, akkor a szenek hőmérséklete állandó marad ugyan, t. i. a szén párologásfokán, ellenben megváltozik magának az ívnek hőmérséklete és vele együtt a gázok kibocsátóképessége. A hőmérséklet egyébiránt az ívnek nem minden részén egyenlő. A szikra-alakú kisülésnél a viszonyok még bonyolultabbak és függenek a szikrakeltés módjától, attól a közegtől, a melyen a szikra áthalad és még más tényezőktől is. A szikrá rendesen nem egységes folyamat, hanem különféle izzítások keletkeznek benne és ezek valószínűleg az időben is változnak. Egyesek szerint a szikrának egyáltalában nincs hőmérsékleti sugárzása, de az újabb vizsgálatok ilyen sugárzás mellett szólnak.

A harmadik módja a világításkeltésnek a fluoreszcencia, a melyet más fényforrás sugarainak hatása idéz elő. A gázok fluoreszcencia-színképe rendesen nagymértékben különbözik azoktól a színekpektől, a melyeket az előbbi kétféle izzítás bármelyikénél kapunk. Rendesen igen széles sávok keletkeznek, némelyik közülök egyoldalúlag élesen határolt, másik vége felé elmosódott. Igaz, hogy a nátrium gőzénél a sárga kettős vonalat is megfigyelték, ez pedig a hőmérsékleti sugárzásnak felel meg.

Sok szilárd anyagnak igen alacsony hőmérsékleten, —  $200^{\circ}$ -on, saját fénye van, foszforeszkál. Gázoknál ilyen világítást eddig nem figyeltek meg, de lehetősége mindenesetre megvan.

Végül még a rádiumnak és a rokontermészetű aktív anyagoknak emanációját kell megemlítenünk. Ezeknek vonalas színképük van, mert ezen emanációk valóban gázoknak tekintendők, a melyek a szilárd radiumkészítményekből keletkeznek.

Előre az ötféle világításnak egyikéről sem mondhatjuk, hogy a ködfoltokban nincs meg. Legtöbb kétségünk lehet az első, tisztán a hőmérséklet emelkedésén alapuló okkal szemben, mert a külső hőmérséklet mindenesetre igen alacsony. De véleményünk szerint éppen ezt a legegyszerűbb magyarázatot nem szabad könnyen elvetni, mert akkor igen fontos körülményt nem vettünk

volna tekintetbe. Az az átlagos sebesség, melylyel a gázok molekulái mozognak és a mely az összeütközésnél a világitást kelti, többek között az abszolút hőmérséklettől is függ. Mennél nagyobb a hőmérséklet, annál nagyobb az átlagos sebesség. De az egyes molekulák valóságos sebessége igen különböző. A sebességek a valószínűség szerint oszlanak el, s adott átlagos sebességnél egyes molekuláknak aránylag nagy sebességük lehet. Ha a közepes hőmérséklet igen alacsony, pl.  $-200^{\circ}$ , akkor a rengeteg nagyszámú molekula között egyeseknek akkora sebességük lehet, hogy az összeütközésnél világitanak. Laboratóriumi kísérleteinkben a gázrétegek vastagsága elenyészően kicsi, a felvillanások száma túlságosan kevés arra, semhogy észrevehetnők. De a ködfoltokban a gázrétegek vastagsága több millió és billió km, tehát a világitó hatások annyira összegeződhetnek, hogy az egész ködtömeget gyengén világitónak látjuk.

De még egyszer hangsúlyozzuk, hogy a ködfoltok világitásának okáról semmi biztosat sem tudunk. Minden csak föltevés marad. Az okok közül mindenki kiválaszthatja azt, a melyet legvalószínűbbnek gondol. Mi az ismertetett legegyszerűbb magyarázatot teljesen lehetségesnek tartjuk, mert a ködfoltok gázrétegének valóban óriási vastagságával számol.

*A ködfoltok mozgásának sebessége.* Mikor a spektroszkópot először kezdték alkalmazni a ködfoltok vizsgálatára, mindjárt igyekeztek a vonalaknak a DOPPLER-FIZEAU-féle elv alapján előálló eltolódását megmérni. Ebből a sebességnek a látósugár irányába eső összetevőjét lehet meghatározni. A kísérletek eleinte eredménytelenek maradtak, mert a ködfoltok fénye gyenge és az eltolódások csekélyek. Végül KEELER-nek sikerült 1890-ben a LICK-csillagvizsgáló nagy refraktorával néhány fényesebb ködfolton optikai megfigyeléssel jó és biztos eredményekre jutnia. Utóbb néhány megfigyelő a legfényesebb ködfoltokon fotografiai úton végzett méréseket, végül a legutóbbi időben SCHEINER és WILSING optikai úton, tehát úgy, mint KEELER, de más módszerrel újra megfigyelték a mozgásokat azokban a ködfoltokban, a melyeket már KEELER vizsgált.

A következő táblázat az eddig ismert sebességeket tartalmazza másodpercenként km-nyi egységben. Az adatokat megfigyelők szerint elkülönítve találjuk. K. KEELER, S. és W. SCHEINER



és WILSING. H. HARTMANN, WR. WRIGHT, V. és E. VOGEL és EBERHARD, F. és A. FROST és ADAMS megfigyeléseit jelenti.

Köd	K.	S. és W.	H.	Wr.	V. és E.	F. és A.	Közép- érték
Orionköd	+18	+15		+16	+17	+18	+17
N. G. C. 1535	-10						-10
» 3242	+ 6						+ 6
» 6210	- 34	-32					-33
» 6543	-65	-64	-66				-65
» 6572	-10	- 7	-11	-11			-10
» 6790	+48	+40					+44
» 6818	-17						-17
» 6826	- 5	0					- 3
» 6891	+41	+40					+41
» 7009	-49						-49
» 7027	+10	+17	+5	+12			+11
» 7662	-11	- 5		- 7			- 8

Ha a mérések nagy nehézségeit tekintetbe vesszük, akkor az egyes megfigyelők eredményeit jól egyezőnek kell mondanunk. Tehát több fényes ködfoltnak a látósugár irányába eső sebességét jól ismerjük. Ha a ködfoltok száma kevés is törvényszerűségek levezetésére, általános eredményt mégis megállapíthatunk: A ködfoltok sebessége nem rendkívül nagy, nem is túlságosan kicsi. Mint látni fogjuk, olyan rendű, mint az állócsillagoké. Ez újabb egyezés a kétféle égitest között.

Nagy gonddal igyekeztek különbségeket találni a ködfolt egyes részeinek sebessége között. De a különböző megfigyelők eredményei részben ellenmondók. Nagy különbségek semmiesetre sem fordulnak elő. Világos, hogy ilyen különbségek kimutatása nagyon fontos volna, mert így esetleg ki lehetne deríteni a ködfoltok valóságos alakját és ennek stabilitását. Alakváltozást, mint említettük, ködfoltokon eddig nem tudtak felismerni. Az óriási távolság és a kis sebességek miatt belátható időben ezt nem is várhatjuk.

A ködfoltok távolságának közvetetlen meghatározása végett megkísérelték parallaxisukat megmérni. WILSING-nek azok a

parallaxismérései, a melyeket az N. G. C. 7027 és 7662 ködfoltokon fotografiai úton végzett, azt mutatják, hogy a parallaxis kisebb, mint  $0.1''$  és a méréseknek ma elérhető pontossága mellett nem határozható meg. NEWKIRK vizsgálta a Lant ködfoltjában levő középonti csillag parallaxisát,  $0.1''$ -et talált. Körülbelül ekkora az elsőrendű csillagok átlagos parallaxisa. Az eredmény elég bizonytalan és nem is nagyon valószínű.

Ha a ködfoltok tárgyalását most be is fejezzük, a következőkben mégis többször vissza kell még térnünk ezekre az égitestekre.





## KILENCZEDIK SZAKASZ.

### AZ ÁLLÓCSILLAGOK.

Az állócsillagok világa az asztrofizikai és csillagászati kutatások számára egyaránt kimeríthetetlen terület marad, mert a távcsövek méreteinek növelésével és a műszerek tökéletesítésével a gyöngefényű csillagoknak mindig nagyobb számát sikerül belevonnunk vizsgálódásaink keretébe. A tárgyak ilyen nagy számánál szinte elvész az egyedek jelentősége, ha csak valamely különös és ritkább tulajdonságukkal nem keltik fel külön érdeklődésünket. Az eredmények ennél fogva inkább általános jellegűek; a vizsgálatoknál pedig kénytelenek vagyunk, a leíró természettudományok módszereihez hasonlóan, összegezni és osztályozni. Különösen érvényes ez a spektroszkópi vizsgálatokra, melyekkel első sorban kell foglalkoznunk.

---

## HUSZONNEGYEDIK FEJEZET.

### Spektroszkópi vizsgálatok.

A csillagos égnak csupán felszínes megtekintése is arra a tapasztalatra vezet, hogy a csillagok nemcsak fényességükben, de színükben is különböznek egymástól. A csillagok többsége kissé kékesbe hajló fehér fényben tündöklök. Soknak színe a fehéres-sárga színnek legkülönbözőbb árnyalata; kisebb számuk vörös és narancssárga. A szabadszemmel nem látható csillagok közt találunk sötétvöröseket is, ezek vércseppekhez hasonlóak. Világos, hogy a színek tarkaságának a színképben kifejezésre kell jutnia, ezért már az első megfigyelő, FRAUNHOFER, a ki a XIX. század



elején az állócsillagok színeképét vizsgálta, mikor még nem is volt szó tudományosan megalapozott színeképelemzésről, fölismerte ezeket a különbségeket és ezzel minden későbbi osztályozásnak alapját megvetette. Később azután szinte valamennyi asztrofizikus, a ki csak állócsillagszíneképekkel foglalkozott, egészen önálló osztályozást használt, úgy, hogy az utóbbiaknak száma igen jelentékeny. Abban még ma sem jutottak megállapodásra, hogy melyik osztályozást használjuk általánosságban és így kénytelenek vagyunk ehelyütt is többé-kevésbé kimerítően tárgyalni a különböző osztályozási elveket. A zavar, mely az osztályozásban uralkodik, valóban klasszikus példája annak, hogy a tárgyi-lagos mérlegeléseken kívül a tudományban is mily nagy szerepe van a nemzetiségi és személyi hiúságnak.

Az osztályozás és beosztás elsősorban mint mnemotechnikai segédeszköz jön tekintetbe. Az osztály egyszerű megjelölésével ugyanis, mintegy a jellemző tulajdonságoknak egész sorát idézzük emlékezetünkbe. Természetes, hogy ezt annál könnyebben érjük el, mennél egyszerűbb beosztást használunk, vagyis mennél több egyedet ölelnek föl az egyes csoportok és így a kisebb és kevésbé szembeszökő különféleségek a csoportok egyes tagjainál mintegy elsímulnak. Ha az osztályozás tisztán alaki szempontból történik, vagyis csak mnemotechnikai célú szolgál, akkor úgynevezett »mesterséges rendszerrel« van dolgunk; ha azonban mélyebben megokolt tudományosabb célokat követ (pl. az egyes osztályokat történeti vagy fizikai szempontból elválasztja), akkor természetes rendszernek nevezzük. A leíró természettudományokban olykor megesik, hogy a mesterséges rendszer előnyösebbnek látszik a természetes rendszernél, pl. rövidség okából. Az exakt tudományoknál azonban inkább a természetes rendszernek van jogosultsága, hacsak eléggé áttekinthető.

Az állócsillagok mind túlnyomóan folytonos színeképet mutatnak, melyben sötét és fényes vonalak láthatók. Ebben különböznek a fényes vonalú csillagszíneképek a ködfoltszíneképektől és csak az új csillagok későbbi fejlődésfokukban kivételek ez alól. FRAUNHOFER fölismerte, hogy a Pollux és Capella színeképében sok gyöngye vonal van, éppen úgy, mint a Mars színeképében, mely utóbbi a Napéval megegyezik. Ellenben a Sirius és Castor színeképében hiányzanak e nagyszámú gyöngye vonalak. Helyettük

a zöld és kék, részben erős sávok jelentkeznek, melyeket ő más színeképben nem talált meg. A Beteugeuze színeképében sok erős és gyöngén határolt csíkot talált és ha eleinte nem is vett észre hasonlóságot a Vénus színeképével, a *D* és *b* vonalak mégis mutatkoztak benne.

Az állócsillagokat először, részben fizikai szempontból SECCHI osztályozta. Több kisebb javítás után végre négy csillagszínekép-típusnál állapodott meg. E négy típust a következőkben jellemezzük:

*I. típus.* Fehér vagy kék csillagok, melyekben a hidrogén-vonalak igen erősek. A többi vonalak vagy hiányzanak, vagy csak egészen gyöngék (Sirius és Wega).

*II. típus.* Sárga csillagok, melyeknek színeképében számos finom vonal van (Arkturus, Nap).

*III. típus.* Narancssárga és vöröses csillagok, melyeknek színeképében jellemző sötét sávok vannak; e sávok a kék felé élesen határoltak, a vörös felé pedig elmosódottak ( $\alpha$  Orionis,  $\alpha$  Herculis).

*IV. típus.* Gyöngé fényű, rendszerint sötétvörös csillagok, melyeknek színeképében széles, sötét sávok vannak; a sávok itt azonban ellentétben a harmadik típussal, a vörös felé élesen határoltak és a kék felé elmosódnak.

Ezt a SECCHI-féle osztályozást, melynél a fizikai szempontot a színeképnek a csillag színével való összefüggése képviseli, még ma is gyakran használják.

VOGEL osztályozása mindössze kis átalakítása és kibővítése a SECCHI-féle típusoknak. Ezt az osztályozást azért tekinthetjük előnyösnek, mert azon érdekes tény fölismerésén alapszik, hogy az egyes csillagok színeképei fejlődési korszakukkal állanak kapcsolatban, úgy, hogy a színeképek egymásmellettségéből a fejlődési korszakoknak óriási időtartama miatt meg nem figyelhető egymásutániság is érzékelhetővé válik. A fejlődés menetét úgy kell gondolnunk, hogy a csillagok állandó kihűlésben vannak; az egyes színeképosztályok tehát a legizzóbb csillagoktól lépcsőzetesen a hidegebb csillagok felé vezetnek. Az asztrofizikusok kevés kivétellel elfogadták ezt a nézetet, úgy, hogy a legtermészetesebb volna, ha következetesen ezt az osztályozási rendszert használnák.

Egészen más, ugyancsak a fejlődési menetet követő beosztást használ LOCKYER. Rendszere azonban annyira eltérő és — véleményünk szerint — annyira helytelen nézeteken alapszik, hogy e helyütt nem vesszük tekintetbe.



### A VOGEL-féle osztályozás a következő:

**I. osztály.** Színeképek, melyekben a fémek vonalai csak gyöngén jelentkeznek, vagy egyáltalán föl sem ismerhetők és a színekép erősebben fénytörő részei, a kék és ibolya különösen erős intenzitásúak.

*I/a.* Színeképek, melyekben a gyöngé fémvonalak közt a hidrogénvonalaknak szélessége és intenzitása feltűnő (Sirius, Wega).

*I/b.* Színeképek, melyekben az egyes fémvonalak csak egészen gyöngén, vagy egyáltalán nem is mutatkoznak és a hidrogénvonalak hiányzanak ( $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$  Orionis).

*I/c.* Színeképek, melyekben a hidrogénvonalak fényesek és ezeken kívül a  $D_3$  vonal is igen fényes ( $\beta$  Lyrae,  $\gamma$  Cassiopeiae).

**II. osztály.** Színeképek, melyekben a fémek vonalai egészen határozottan megjelennek. A színekép fénytörőbb részei, ellentétben az előző osztálylyal, halványak és a kevésbbé fénytörő részekben helyenként gyöngé sávok mutatkoznak.

*II/a.* Fémvonalakban gazdag színeképek. E vonalak főleg a sárga és zöld részben tűnnek ki intenzitásukkal. A hidrogénvonalak többnyire élesek, de nem annyira szélesek, mint az I a. osztálynál (Capella, Arkturus, Nap).

*II/b.* Színeképek, melyekben sötét vonalakon és elmosódott sávokon kívül több fényes vonal tűnik föl (*T Coronae*, új csillagok).

**III. osztály.** Színeképek, melyekben a sötét vonalakon kívül számos sötét sáv mutatkozik a színekép valamennyi helyén és a fénytörőbb részek föltűnően gyöngéek.

*III/a.* A sötét vonalakon kívül a színeképben sávokat lehet fölismerni, melyek közül a legföltűnőbbek az ibolya felé sötétlen, de élesen vannak határolva, a vörös felé pedig halványan és elmosódva látszanak ( $\alpha$  Orionis,  $\alpha$  Herculis).

*III b.* Színeképek, melyekben sötét igen széles sávok jelennek meg, melyeknek fényességváltozatai éppen ellentétesek, mint az előző alosztálybeli sávoké, tehát a vörös felé vannak élesen határolva, az ibolya felé pedig elmosódva. (Csak gyöngéfényű csillagok tartoznak ide.)

Meg kell jegyeznünk, hogy a csillagok fejlődésmenetét csak a három főosztály tünteti föl, az alosztályok inkább csak csoportosításul szolgálnak. Azonkívül figyelembe kell vennünk, hogy az osztályozásban, melyben a hidrogénvonalak megjelenése a fő ismertető jel, a hidrogénvonalak a fémvonalakkal vannak mintegy párhuzamba állítva. Ma már tudjuk, hogy a hidrogént szintén a fémek közé kell sorolnunk és hogy általában a chemiában a fémek és metalloidek között napjainkban nem vonunk már olyan éles választófalat, mint azt hajdanában tették.

Az első PICKERING-féle osztályozás csak mintegy kibővítése a SECCHI-félének azáltal, hogy bevezet egy ötödik típust. Ez

utóbbi olyan színeképeket tartalmaz, melyek főleg fényes vonalakból állanak.

Az eddig említett osztályozások a színekép optikai (látható) részének sajátosságai alapján készültek. A fotografálás felhasználása nemcsak a csillagszíneképek pontosabb megítélését tette lehetővé, hanem a hullámhosszak megfigyelhetőségének határát is lényegesen szélesbítette, úgy hogy egészen természetes, hogy az eddigi osztályozásoknak bizonyos módosításokon kellett átmenniök, mint pl. a VOGEL-félének is. Azonban később már nemcsak a meglevő rendszerek módosításaira szorítkoztak, hanem a fotografiai fölvételek alapján egészen új osztályozásokat teremtettek; emellett azonban sajnos, eltértek attól a vezérelvtől, hogy lehetőleg egyszerűsége, vagy valamely természetes elv alkalmazására törekedjenek.

A második PICKERING-féle osztályozás teljesen a fotografiai színeképfölvételekre szorítkozik. Először abban a terjedelmes csillagszíneképkatalógusban használták föl, mely »The Draper Catalogue of Stellar Spectra« címen jelent meg. PICKERING 16 osztályt vesz föl, melyeket az *ABC* betűivel jelöl.

*A*-tól *D*-ig a színeképek a SECCHI-féle első osztályhoz tartoznak.

Sötét vonalak sorozata van bennük, melyek az ibolya felé mindjobban közelednek egymáshoz és nem egyebek, mint hidrogénvonalak.

*A*) Színeképek, melyekben ezenkívül csak a kalcium *K* vonala ismerhető fel.

*B*) Színeképek, melyekben még más vonalak is észlelhetők.

*C*) Színeképek, melyekben a  $H_\gamma$  és  $H_\beta$  kettősek. PICKERING szerint ennek okát a tökéletlen gyújtópontbeállításban kell keresnünk.

*D*) Színeképek, melyekben fényes vonalak fordulnak elő.

*E*-től *L*-lel jelölt színeképek a második színeképtípushoz tartoznak. A *K* vonal sehol sem oly erős, mint a *H*.

*E*) Színeképek, melyekben a *F*, *H* és *K* vonalakon kívül más vonalak nem láthatók.

*F*) Színeképek, melyekben még más hidrogénvonalak is előfordulnak.

*G*) Színeképek, melyekben ezeken kívül még más vonalak is láthatók.

*H*) Színeképek, melyekben a folytonos színekép intenzitása erősebb a nagyobb hullámhosszaknál, mint a rövidebbeknél (a határ  $\lambda$  4310-nél van).

*I*) Ugyanolyan színeképek, csakhogy sötét vonalakkal bővülve.

*K*) Színeképek, melyekben a színekép folytonos részei sötét sávok közt jelennek meg és ezáltal azt a benyomást keltik, mintha világos vonalak volnának.

*L*) Az előző *K* csoportnak más változatai.



M) A harmadik típusnak színeképei, melyeknek különös ismertetőjele a fényerősség rohamos csökkenése a  $\lambda$  4762 hullámhossznál.

N) A IV. típus színeképei.

O) Színeképek, melyek főleg fényes vonalakkal állanak.

P) A bolygószerű ködfoltok színeképei.

Q) Mindazok a színeképek, melyeket az eddigi csoportokba nem lehetett beosztani,

Amint látjuk, PICKERING-nek ez az osztályozása a SECCHI-féle típusok alapján történt. Egyébiránt ez az osztályozás teljesen alaki természetű, melynek bizonyos tekintetben nincs is reális jelentősége, ezért más távcsövekkel végzett színeképfölvételeknél teljességében nem alkalmazható.

MISS MAURY-nak osztályozása annyira bonyolult és terjedelmes, hogy részletes tárgyalása itt túl sok helyet foglalna el. Lényegében 22 csoportból áll, melyeket nagyjában a következőképpen jellemezhetünk: az első 5 csoport azokat a színeképeket foglalja magában, melyekben héliumvonalak vannak; a 6-ik csoport átmenet a SECCHI-féle I. típushoz, melyhez a 7—11. csoportok tartoznak. A 12-ik csoport vezet át a SECCHI-féle II. típushoz, mely a 13—16. csoportokat tartalmazza. A 17—20. csoportok a SECCHI-féle III. típust ölelik föl. Közülök a két utolsó azonos az I. PICKERING-féle beosztás 4. és 5. típusával.

E 22 csoport nem volt elegendő és így MISS MAURY még három párhuzamos sorozatot vezetett be, melyeknek 22 csoportját egy hozzá írt *a*, *b* és *c* betűvel jelezte. Az »*a*« sorozatban az összes vonalak a hidrogén- és kalciumvonak kivételével mind élesek, a »*b*« sorozatban valamennyi csík széles és elmosódott; végül a »*c*« sorozatban a hidrogén- és héliumvonalak élesek; a kalciumvonalak erősebbek, mint az *a* és *b* sorozatban. E három sorozat nincs élesen elválasztva egymástól, hanem átmeneteket kell közbeiktatnunk, melyeket »*ab*« és »*ac*« betűkkel szoktunk jelölni. Ezek után belátható, hogy a 22 csoport mindegyike 5 különböző indexxel képzelhető el. Így a MAURY-féle osztályozásnak 110 alcsoportja van. Azt, hogy az ilyen rendszernek nincsen sok gyakorlati jelentősége, talán nem is kell említeni.

VOGEL is kénytelen volt beosztásának legalább első osztályában a fotografiai színeképfölvételek eredményeihez alkalmazkodni. Az első osztály ennél fogva a következőképpen jellemezhető, ha a 686. lapon közölt meghatározás helyébe tesszük:

I. osztály. Folytonos színeképek, melyeknek fénytörőbb részei, a kék és ibolya, különösen föltűnők. A színeképet a hidrogénvonalak teljes sorozata szövi át, melyek sötét, széles és elmosódott, csak ritkán élesen határolt és ekkor keskenyebb elnyeletési vonalaknak látszanak és általánosságban messze túlszárnyalják más fémek vonalainak intenzitását. Ritka esetben a hidrogénvonalak fényesek is.

I.  $a_1$ . Színeképek, melyekben csak a hidrogénvonalak széles, erősen kifejezett vonalak alakjában tűnnek elő, más színeképvonalak azonban nem ismerhetők föl.

I.  $a_2$ . Színeképek, melyekben a hidrogénvonalak mellett még más fémek; nevezetesen kalcium, magnézium és nátrium vonalai jelennek meg, azonban a héliumvonalak hiányzanak. A  $K$  vonal éles és keskenyebb a hidrogénvonalaknál. Más fémeknek vonalai gyöngék és csak nehezen fölismerhetők.

I.  $a_3$ . Színeképek, melyekben a  $K$  vonal közel olyan intenzitású, mint a hidrogénvonalak, éles vagy elmosódott. A különféle fémek, különösen a vas vonalai erősek. A héliumvonalak hiányzanak. Ez az alosztály egyenes átmenet a II. osztályba.

I.  $b$ . Színeképek, melyekben a mindig túlnyomó hidrogénvonalakon kívül a hélium vonalai is megjelennek. Más fémek vonalai is kisebb-nagyobb számmal jelentkeznek.

I.  $c_1$ . Színeképek fényes hidrogénvonalakkal.

I.  $c_2$ . Színeképek, melyekben a fényes hidrogénvonalakon kívül a hélium, kalcium és más fémek fényes vonalai is fényesek.

A VOGEL-féle osztályozásról még a következőket kell megjegyeznünk. Az az elv, hogy a fejlődésmentet a három főosztály tünteti fel, míg az alosztályok párhuzamos sorozatokat alkotnak, ennél az osztályozásnál sem valósul meg teljes szigorúsággal. Az I.  $c_1$  csoport, sőt talán még az I.  $c_2$  csoport lehetne talán nézetünk szerint az első fejlődési fokozat (lásd alább), és ezért I. osztály jelzéssel kellene ellátni őket, míg a többi osztályok számait 1-gyel meg kellene növelni; azonban, hogy egyezésben maradjunk az első VOGEL-féle beosztással, ezt az eljárást inkább elhagyjuk. Az osztályozásnak az I.  $a$ . alosztály kettéválasztásával előálló bonyolítása sok esetben fölösleges, sőt néha keresztül sem vihető, ha pl. csak optikai megfigyelés áll rendelkezésünkre. Ebben az esetben az új I.  $a$ . osztály azonos lesz a régivel, kivéve a héliumcsillagokat, melyek magukban most már az I.  $b$ . osztályt alkotják, melynek eredeti meghatározása már nem tartható fenn. A régi I.  $b$ . osztály legtöbb csillagát most az I.  $a$ .-ba kell áthelyezni.

Abból a célból, hogy az olvasó számára megkönnyítsük valamely más osztályozásban megadott csilagszíneképek elhelyez-



kedését az itt alapul vett VOGEL-féle második rendszerben, közöljük a következő összeállítást, melyben a különféle rendszerek osztályait a VOGEL-féle második rendszer osztályaival azonosítani próbáljuk.

VOGEL II.	VOGEL I.	SECCHI	PICKERING I.	PICKERING II.	MAURY
I. $a_1$	} I. $a$ .	} I.	} I.	—	6
I. $a_2$				A	} 7, 8, 9
I. $a_3$				} B, C	
I. $b$ .	—	} I.	} I.		10, 11
—	I. $b$ .		—	1, 2, 3, 4, 5	
I. $c_1$	} I. $c$ .	—	—	} D	—
I. $c_2$		—	—		—
—	—	—	—	E, F, G	12
II. $a$ .	II. $a$ .	II.	II.	H, I, K, L	13, 14, 15, 16
II. $b$ .	II. $b$ .	—	V.	O	22
III. $a$ .	III. $a$ .	III.	III.	M	17, 18, 19, 20
III. $b$ .	III. $b$ .	IV.	IV.	N	21
—	—	—	—	P	—
—	—	—	—	Q	—

Az eddigiekben aránylag sokat időztünk a csillagszínképek osztályozásánál; ezt azért tettük, hogy az eddig elért nagyszámú eredmények ismertetésével el ne veszítsük a vezérfonalat és áttekinthetőségüket megkönnyítsük. A Vogel-féle második osztályozás alapján nem kell félnünk az ilyenformán előálló zavaroktól.

Ha a következőkben a különböző osztályok csillagszínképeit tárgyaljuk, nem szabad elfelednünk azt, hogy az egyes osztályok és alosztályok az égen nincsenek egymástól szigorúan elválasztva. Mindenütt találunk egyedeket, a melyek a különféle osztályok és alosztályok között mintegy közepes helyet foglalnak el; maga az osztályozás csak a legjellemzőbb típusokra szorítkozik.

*Az I. osztály színképei.* Az első osztály színképeire a hidrogénvonalaknak túlsúlya jellemző. Más gyöngye vonalak fölismerhetése természetesen a műszerek finomságától, a diszperzió nagyságától, a levegő nyugtalanságától stb. függ, úgy hogy

abban a tekintetben biztos megállapodásra jutni nem igen lehet. Azonban mindenesetre találtak egyes csillagokat, melyeknek színképében a hidrogénvonalakon kívül más vonalakat eddig nem vettek észre; ezekben a színképekben a hidrogénvonalak rendkívül szélesek és erősek. A hidrogénvonalaknak sajátos és igen jellemző elhelyezkedése a fotografiai fölvételeken igen tisztán felismerhető. A 180. kép világosan mutatja az ilyen I.  $a_1$  osztályú színképeket és pedig a  $H_\gamma$  vonaltól kezdve.

Ha más fémek vonalai is megjelennek, különösen a kalcium- és magnéziumvonalak, akkor a színképeket a I.  $a_2$  osztályba soroz-



180. rajz.

zuk. Ezek a vonalak azonban rendszerint gyöngék a hidrogénvonalakhoz képest. Példaképpen a 180. rajz közepén láthatunk ilyen színképet, melynél első pillantásra feltűnik, hogy a hidrogénvonalak, bár nagyon sötétek, mégis a rendesnél valamivel élesebbek. A fémvonalak szaporodásával a kalciumvonal is mind erősebbé válik, úgy hogy szintén eléri, sőt túlszárnyalja a hidrogénvonalak intenzitását. Ezekután a I.  $a_3$  alosztály következne, melynek egyik-másik tagja valószínű átmenet a II.  $a$ . osztályba, amint azt a 180. képen alul láthatjuk.

Az I.  $b$ . osztály színképei abban különböznek a I.  $a_2$  és I.  $a_3$ -tól, hogy héliumvonalak is vannak bennük, melyek közül különösen a  $\lambda 5876$  ( $D_3$ ),  $\lambda 5016$ ,  $\lambda 4472$  és  $\lambda 4026$  jönnek tekintetbe. Élesség dolgában a héliumvonalak rendszerint megegyeznek a hidrogénvonalakkal.

Az I.  $c$ . osztályban a hidrogén- és esetleg néhány más



vonala fényes. Ezek a fényes vonalak a diszperzióknak erőssége szerint többé-kevésbé jól felismerhetők; fotografiai fölvételeknél úgy tűnnek fel, mintha csomók lennének a folytonos színekben.

SCHEINER azt találta, hogy az I. osztály fotografiai színekép-fölvételeinél a hidrogénvonalak jellemző tulajdonságokat mutatnak, melyeknek fizikai jelentősége van és az állócsillagok belső szerkezetére némi következtetést engednek vonni.

Annak a körülménynek, hogy az I. osztályban a hidrogénvonalak többnyire nagyon erősek, szélesek és elmosódottak, a KIRCHHOFF-féle törvény folyományaképpen különféle jelentősége lehet: vagy az elnyelő közegnek nagyobb vastagsága (I. c.-nél a kisugárzórétegnek), vagy a kevésbé vastag rétegek nagyobb sűrűsége, vagy a hidrogén igen magas hőmérséklete, vagy végül mindezen tényezők együttvéve.

Az ügyet a hidrogénvonalak különböző alakja fogja eldönteni.

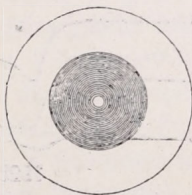
A vonalak szélességének megítélésakor nagyon nehéz eldönteni, vajjon a különbségek reálisak-e, avagy csak a különféle erősségű fölvételektől származnak. Minthogy valamennyi széles vonal kivétel nélkül egyszersmind kissé elmosódott, tehát a környező folytonos színekép fényéből az átmenet a vonal közepének fényesség-minimumába csak fokozatos, egész természetesnek látszik, hogy a nagyobb erejű fölvételeknél (hosszabb kintartás stb.) a vonalak látszólag mindig keskenyebbek lesznek. Ha tehát ugyanazon csillag-színekpről nincs sok különböző fölvételünk, nagyon kétes dolog lesz a hidrogénvonalak szélességének megítélése. Sokkal fontosabb azonban azok a különbségek, melyek a különböző csillagoknál a széles vonalak belsejében megjelenő fényességeloszlásban mutatkoznak. Abból a célból, hogy mindezt világossá tegyük, még egyre-másra ki kell terjeszkednünk.

A közölt meghatározás szerint valamely csillag fizikai fogalma csak akkor különül el a köd fogalmától, a mikor színeképe lényegében folytonos, vagyis rajta már olyan központi sűrűsödés keletkezett, hogy egy bizonyos rétegének ugyanolyan tulajdonságai vannak, mint a Nap légkörének, a mely mindenféle sugárfajtát bocsát ki magából. Ha csak a KIRCHHOFF-féle törvényt vesszük alapul, minden más megfontolás kizárásával, akkor az a körülmény, hogy valamely csillag színeképében fényes vagy sötét vonalak jelennek meg, csupán attól függ, hogy a fotoszféra fölötti gázrétegek

magasabb vagy alacsonyabb hőfokúak-e, mint maga a fotoszféra. Egyenlő hőfokon nem látnánk vonalakat. Ezt a törvényt a fényes vonalak magyarázatára fölhasználni kényes dolog, mert fizikai gondolkozásunkkal ellenkezik, hogy olyan testek jelenlétét tegyük föl, melyeknél általában a külső rétegek magasabb hőmérsékleten volnának, mint a belsők.

Meteoroknak a légkör magasabb rétegeibe való folytonos és tömeges berohanása ugyan fokozhatná a külső réteg hőmérsékletét annyira, hogy a fotoszféránál melegebbé válna; azonban akkor a színekben nemcsak a hidrogénvonalak lennének fényesek, hanem a meteorokban levő fémek vonalainak is jelentősebb szerep jutna. A külső rétegek izzóbb voltát továbbá azzal a kevésbbé valószínűbb föltevessel is megmagyarázhatnók, hogy a mag belsőjéből folytonosan izzó gázok törnek elő; csak hogy ezek a kitörés következtében magát a fotoszférát is fölmelegítenék, a felsőbb rétegekben pedig kitérítve erősen lehűlnének.

A fényes vonalaknak más egyszerű magyarázata a fényes vonalak alakján alapszik és egyszerismind fölvilágosít bennünket azon összefüggésről, mely a különféle alakú sötét hidrogénvonalak és az illető csillag alkata között van.



181. rajz.

A vonalak szélessége és elmosódottsága arra vall, hogy az I. típus csillagjainak igen nagy hidrogénlégkörük van és csupán azt kell föltennünk, hogy e légkör magassága ugyanolyan rendű, mint a fotoszféra által határolt mag átmérője. Ebben az esetben a légkörnek azon részei melyek a mag látszólagos korongján kívül esnek, fényes vonalú hidrogénszíneképet fognak adni, míg a korongelőtti részek sötét elnyelési vonalakat (l. 181. rajz). A nagy távolság miatt pontalakúnak látott csillagnál mindkét színekép optikailag egyesül; a fényes vonalak a sötétekre kerülnek és intenzitásuk, vagyis a légkör magassága és a mag átmérője közti viszony szerint, az egyik vonalfajta elnyomja a másikat. Ezek alapján a következő típusokat különböztethetjük meg, melyeknél a hidrogénvonalak alakját grafikusán, intenzitásgörbéjükkel tüntetjük fel:

1. osztály. A légkör magassága kicsiny; tehát csak az elnyelési vonalak láthatók. A vonal közepe felé az intenzitás folytonosan csökken és az intenzitásgörbe alakja a szerint, hogy



mekkora a fotoszféra és a légkör közti hőmérsékletkülönbség, a 182a. rajzon feltüntetett 1., 2., vagy 3. görbe menetét mutatja.

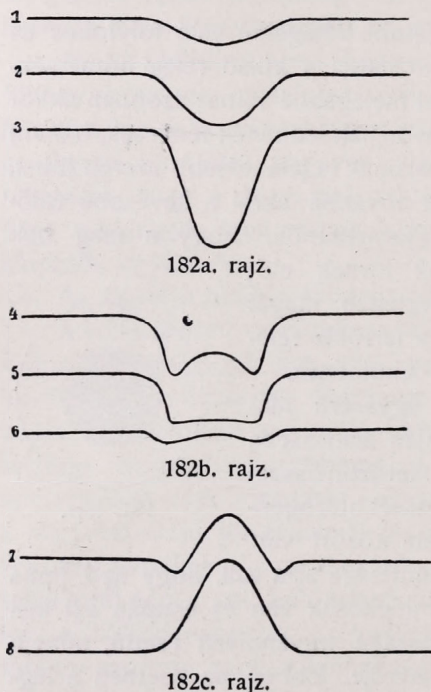
2. osztály. A légkör magassága annyira jelentékeny, hogy a színekben az emissziós vonalak észrevehetővé válnak. A sötét

vonalak intenzitása tehát nem csökken folytonosan a vonal közepe felé, ott inkább egy második maximum mutatkozik, a mint azt a 182b. rajz 4., 5. és 6. görbéi mutatják.

3. osztály (l. c.). A légkör magassága oly nagy, hogy a hidrogén emissziós-vonalai fényességükkel kilépnek a folytonos színekép-ből. Az elnyeletési vonal két oldalt esetleg gyöngén észrevehető, azonban gyakran teljesen el van takarva (l. 182 c. rajz 7. és 8. görbéi).

A mint látjuk, az egyes görbékben a legerősebb elnyeletési vonalakból a fényesebb vonalakba folytonos az átmenet. SCHEINER

az itt felsorolt, görbék mindenikére talált példát a csillagok világában, pl.



	Csillag
1. görbe	$\xi$ Ursae Majoris.
2. »	$\alpha$ Ophiuchi és mások.
3. »	$\alpha$ Geminorum.
5. »	$\eta$ Ursae Majoris.
6. »	$\delta$ Orionis.
7. »	$\gamma$ Cassiopejae.

Az I. típus csillagjainál feltűnő az a körülmény, hogy a sötét elnyeletési vonal mindig szélesebb, mint a megfelelő fényes emissziós vonal. Ennek oka az előbbieken alapján egészen természetes. A fotoszféra fényének a légkör valamennyi, tehát legmélyebb rétegein is át kell haladnia. A keletkező elnyelési vonal szélessége e szerint a legsűrűbb rétegtől függ. A fotoszférakorong szélén az emissziósvonalnál kerül ugyan fény e legsűrűbb rétegből a spektroszkópba, de a keskeny gyűrűalakú felület kicsinyisége miatt csak egészen észrevehetetlen mértékben. Csak a sokkal kívülebb fekvő rétegek, melyeknek sűrűsége kisebb, nagyobb felületük révén több fényt bocsátanak ki magukból; az emissziósvonal ezért minden körülmények között keskenyebb lesz az elnyeletési vonalnál.

Az utolsó évtizedben találtak néhány csillagot, melyeknél a hidrogénvonalak egészen rendellenesen viselkednek, a miért is beosztásuk a VOGEL-féle színekposztályokba, nehézségekbe ütközött; a hidrogénvonalak ezen viselkedése még a KIRCHHOFF-féle törvény folyományaival is valóságos ellentétben áll. Ezen csillagoknál a hidrogénvonalak egyrésze fényes, másrésze sötét. Ezt a rendellenes viselkedést is könnyen beláthatjuk a SCHEINER-féle magyarázat alapján. A most említett s jobbára PICKERING és CAMPBELL által fölfedezett csillagoknak színeképében a hidrogénvonalak a kevésbé fénytörékeny részekben fényesek, a fénytörékenyebb részekben ellenben sötétek, még pedig a fényesség valamennyi fokozatát megtaláljuk náluk. Így pl. az  $\eta$  Tauri (Alcyone) színeképében a  $H_{\alpha}$  vonal fényes, a többi pedig sötét; a  $\gamma$  Argusnál  $H_{\alpha}$  vonal fényes,  $H_{\beta}$  már csak alig fényes sáv; a többi hidrogénvonal sötét, még pedig növekvő intenzitással az ibolya felé. A legtöbb ilyen csillagnál a  $H_{\alpha}$  és  $H_{\beta}$  vonalak határozottan fényesek, a többiek sötétek. Végül ugyanitt felemlíthetjük a  $\gamma$  Cassiopejae-t, melynek színeképét az I. c. osztályba sorozzuk s melyben a hidrogénvonalak egészen az ultraibolyáig fényesek, azontúl azonban sötétek. Azt, hogy a fönti magyarázat tágabb értelemben itt is alkalmazható, mutatja az a fontos körülmény, hogy mindazokban az esetekben, a melyekben a fényesség nem túlságosan csekély, észre lehet venni, hogy a fényes vonalakat két oldalt sötétek fogják közre, vagyis a mi ugyanaz, a fényes vonalak sötét elnyeletési vonalakra vannak vetítve. A magyarázat a következő:



E rendellenes színeképű csillagoknak az összes sötét hidrogénvonalakkal átszótt folytonos színeképük van, éppen úgy, mint az I. a. osztály csillagainak. E színekép fölé vetítődik az emissziós hidrogénvonalak rendszere, mely a fotoszféra korongján kívül eső hidrogénléggörteől származik. Ha a légkör főrétegének hőmérséklete nem nagy, akkor nem kell, hogy az összes hidrogénvonalak fényeseknek látszódnak; a legalacsonyabb izzási hőmérsékleten csupán a  $H_\alpha$  vonal jelenik meg, valamivel magasabb hőmérsékleten a  $H_\beta$  szintén megjelenik stb. Azonban magától értetődik, hogy a légkör legkülsőbb rétegeiben, melyeknek látszólag a legnagyobb terület jut, a hőmérséklet alacsonyabb, mint a belső sűrűbb részeken, melyeken a légkör fényének kell áthatolnia: a sötét elnyelési vonalaknak mind meg kell jelenniök, míg a fényesek közül csak egyeseknek s e mellett intenzitásuk természetesen az ibolya felé csökken. Az I. c. osztályba tartozó színekép tipikus esete e szerint az lesz, ha valamennyi hidrogénvonal fényesen vetül az elnyelési vonalakra. A légkör fokozatos lehűlése, továbbá magasságának csökkenése mellett először az ultraibolyában levő fényes hidrogénvonalak tűnnek el (pl. a  $\gamma$  Cassiopea-nál) és így mindig tovább, egészen a  $H_\alpha$  vonalig, mely legutoljára marad meg (pl.  $\eta$  Tauri-nál). Ha ez a fényes vonal is megszűnt, eljutottunk az I. a. osztályhoz. De még ez osztály csillagainál is észrevehetjük néha a fényes vonalak végső maradványait az elnyelési vonalak némi fölélnkülésében ( $\delta$  Orionis), míg végül ezek is eltűnnek és megmarad a tiszta I. a. típus, sötét elnyelési vonalaival.

Nagyon fontos, hogy az I. típus színeképeiben más elemek vonalainak megjelenését is vizsgáljuk. Elsősorban a kalcium jelenik meg, még pedig ezt főleg a  $\lambda$  3934 hullámhosszú  $K$  vonal képviseli; utóbbi mindannyiszor megjelenik, valahányszor a hidrogénvonalakon kívül egyáltalán más vonal is mutatkozik; keskeny és éles, ellentétben a hidrogénvonalakkal. A Nap színeképénél szerzett tapasztalataink alapján nem is látszik különösnek, hogy ez a vonal mint első jelenik meg; ugyanis a színekép a legérzékenyebb reagens a kalciumnak legparányibb mennyiségeinél. A kalciumon kívül leggyakrabban magnéziummal és nátriummal találkozunk; az első főleg a  $\lambda$  4481 hullámhosszúságú, az utóbbit pedig a  $D$  vonal képviseli; e két elemnél szintén igen érzékeny reagens a színekép. A vonalak nagyobb száma mellett a  $K$  vonal szélesebbé és el-

mosódottabbá válik és hasonlítani kezd a hidrogénvonalakhoz; a színek pedig az I.  $a_2$ -ből az I.  $a_3$ -ba megy át és a többi elemek közül főleg vas és vele rokon elemek, mint króm, mangán, titán, nikkel jelennek meg. Általában azok a vonalak mutatkoznak legelőször, melyek a vas ívszínekében a legerősebbeknek látszanak; bár határozott szabályt itt sem állíthatunk föl, minthogy a vonalak intenzitása a csillagok színekében gyakran lényegesen eltér a laboratóriumban előállított színeképektől. A vonalak száma mindinkább nagyobbodik, úgy hogy egészen tisztán kivehető csoportok jelennek meg, melyek megegyeznek a Nap színekével; e mellett a hidrogénvonalak mindinkább keskenyebbé és élesebbé válnak. Igen jellemző átmeneti színekpet mutat a II.  $a$ . típusba az  $\alpha$  Canis minoris, melynél a Nap színekéjének majdnem minden vonalát fölismerhetjük és még viszonylagos intenzitásuk is eléggé megegyezik a Nap vonalaival s a csillag észrevehetően sárgás színben is ragyog.

A VOGEL-féle rendszerben külön osztály van azon csillagok számára, melyeknél héliumvonalak mutatkoznak. Orión-csillagoknak is nevezzük őket, mert nagy számmal fordulnak elő a hasonló nevű csillagképben; ez utóbbi körülményre SCHEINER már akkor fölhívta a figyelmet, a mikor még nem is tudták, hogy a jellemző vonalak héliumtól származnak. A csillagok színekében e vonalak közül leginkább a következőket találjuk meg:  $\lambda$  5876 ( $D$ ), 5016, 4922, 4472, 4026, 3868 és 3820. A  $\lambda$  3889 hullámhosszúságú héliumvonal rendszerint nem ismerhető fel, mert nagyon közel fekszik a  $H\epsilon$  hidrogénvonalhoz és vele egybeesik.

Valamely alosztálynak megkülönböztetése a héliumvonalak alapján szigorúan véve nem volna jogosult, mert a csillagok további fejlődésével, egészen a II.  $a$ . osztályig, a héliumvonalak eltűnnek anélkül, hogy az illető csillagokon a héliumnak mint elemnek létét kétségbevonhatnók. Az általános napszínekben hiányzanak a héliumvonalak, de a napkorong szélén végzett megfigyeléseknél jelentős szerep jutott nekik. Ugyanis a Nap légkörében a héliumgáz eloszlása olyan (lásd 439. lap), hogy elnyelési vonalakat nem észlelhetünk; ennél fogva az I.  $b$ . alosztályból valószínűleg csak bizonyos viszonylagos mennyiségi különbségekre következtethetünk, nem pedig arra, hogy a hélium jelenléte vagy hiánya lényeges.



Szám	Rektaszczenzió (1900.)	Deklináció (1900.)	Fényesség	Galaktikus hosszúság	Galaktikus szélesség
1	0 <sup>h</sup> 37·5 <sup>m</sup>	+ 64 <sup>o</sup> 14'	9·5	89 <sup>o</sup> 53'	+ 2 <sup>o</sup> 14'
2	2 33·9	+ 56 18	9·1	105 21	— 2 18
3	2 44·8	+ 56 31	9·5	106 37	— 1 26
4	6 50·0	— 23 48	7·2	202 19	— 8 52
5	8 6·5	— 47 2	3	230 20	— 6 59
6	8 51·6	— 47 12	—	235 13	— 1 4
7	9 51·6	— 57 15	8·5	248 43	— 2 19
8	10 6·1	— 62 5	—	253 0	— 5 14
9	10 7·6	— 60 8	—	252 4	— 3 30
10	10 13·3	— 57 24	—	251 14	— 0 48
11	10 14·4	— 62 9	—	253 51	— 4 46
12	10 22·9	— 58 8	—	252 42	— 0 46
13	10 37·4	— 59 9	7·2	254 51	— 0 46
14	10 37·8	— 58 15	9	254 29	+ 0 4
15	10 40·1	— 59 36	6·9	255 21	— 1 1
16	10 40·3	— 59 12	8·5	255 48	— 0 40
17	10 43·4	— 58 41	—	255 20	— 0 1
18	10 47·9	— 61 46	—	257 5	— 2 36
19	10 52·2	— 59 55	7·7	256 52	— 0 40
20	10 55·8	— 57 17	—	256 16	+ 1 56
21	11 2·3	— 64 58	8·2	259 53	— 4 53
22	11 5·8	— 60 26	8	258 38	— 0 31
23	11 55·2	— 54 33	—	263 29	+ 6 53
24	13 1·7	— 64 46	6	272 19	— 2 51
25	13 11·5	— 57 36	—	274 13	+ 4 8
26	13 24·3	— 61 34	—	275 15	— 0 1
27	13 36·3	— 66 55	—	275 30	— 5 31
28	15 15·9	— 62 20	9	287 4	— 5 34
29	15 55·0	— 62 28	—	290 34	— 8 28
30	16 0·6	— 25 57	8·5	290 39	+ 17 39
31	16 44·5	— 41 4	5·9	311 20	+ 0 44
32	16 45·3	— 41 41	7·5	310 56	+ 0 14
33	16 47·3	— 41 40	7	311 11	— 0 3
34	16 47·9	— 44 50	8·2	311 47	— 2 7
35	16 48·0	— 41 0	6·4	311 47	+ 0 17
36	16 57·0	— 38 0	6·5	315 13	+ 0 45
37	16 57·2	— 37 42	7·1	315 29	+ 0 55
38	17 12·1	— 45 32	7·2	310 47	— 5 57
39	17 55·1	— 32 42	9	326 8	— 6 15
40	18 2·1	— 19 25	9·6	336 33	— 1 54
41	18 2·5	— 21 16	7·8	336 56	— 2 5
42	18 13·5	— 11 40	8·7	347 36	+ 0 17
43	19 30·5	+ 30 19	9·3	32 26	+ 3 57
44	20 2·2	+ 35 31	7·0	40 20	+ 1 10
45	20 6·5	+ 35 53	8·5	41 8	+ 0 39
46	20 8·2	+ 35 54	8·0	41 20	+ 0 24
47	20 8·4	+ 38 3	7·1	43 7	+ 1 35
48	20 10·8	+ 36 21	8·0	42 1	+ 0 13
49	20 13·3	+ 37 7	8·1	42 56	+ 0 15
50	20 15·8	+ 38 25	8·7	44 16	+ 0 37
51	20 17·1	+ 43 32	7·5	48 32	+ 3 27
52	20 17·8	+ 36 36	9·5	43 2	— 0 46
53	22 15·0	+ 55 37	8·9	70 29	— 0 50
54	22 23·7	+ 55 46	10	71 83	— 1 20
55	22 32·9	+ 56 23	8·9	73 3	— 1 25

A *II. a. osztály színeképei*. Ezen osztály színeképeiről nem kell sokat mondanunk, mert ezeket nagyjában a Nap színeképe képviseli, melylyel úgyis részletesebben foglalkoztunk. Ki kell azonban emelnünk, hogy több csillag színeképe teljesen megegyezik a Napéval. még pedig vonalról-vonalra, sőt még szélességük, alakjuk elmosódottságuk és viszonylagos intenzitásuk is.

Mindezekből következik, hogy a *II. a. osztály* tipikus csillagjainak alkatukban és egyéb részleteikben ugyanoly szerkezetük van, mint a Napnak, talán csupán az egyes elemeknek viszonylagos mennyiségében különböznek tőle. Minthogy az *I. a. osztályból* a *II. a. osztályig* folytatólagos fejlődési menetet látunk, arra következtethetünk, hogy Napunk is egykor beláthatatlan időigig mint *I. a. osztálybeli* csillag, eredetileg talán mint *I. c. osztálybeli* tündöklött.

Ha viszont azokat a különbségeket tekintjük, melyeket a *II. a. osztály* más tagjai a Nap színeképével szemben mutatnak és azokban olyan jelenségeket látunk, melyek a csillagoknak a *III. a. osztály* felé való továbbfejlődésére vallnak: a mai Napunk jövőjének képét varázsolhatjuk magunk elé.

A határozott, tiszta típustól való eltérések főleg a vonal kiszélesedésében és megerősödésében mutatkoznak, úgy hogy a Nap színeképével ellentétben itt az egymáshoz közel levő vonalak. mondhatni, előszeretettel szélesebb sávokká egyesülnek, főképpen a kék és ibolya részeken, ahol a vonalak száma a legnagyobb. Például már a Nap színeképében a kevésbbé fénytörékeny rész felé a *G* vonalcsoport meglehetősen élesen van határolva; azoknál a csillagoknál pedig, melyek későbbi fejlődési fokot mutatnak, az egész színekép itt mintegy megszakadni látszik és csak később az ibolyában folytatódik megint. Ezt a fejlődési menetet nagyon szépen követhetjük a fényesebb csillagok közül vett példákkal. Az  $\alpha$  Aurigae színeképe, legalább időközönként, mint később látni fogjuk, egészen megegyezik a Nap színeképével; az  $\alpha$  Bootis fejlődési foka valamivel előrehaladottabbnak látszik, bár egész határozottsággal nem állítható. Ezek után következnek mondjuk a  $\beta$  Geminorum, míg az  $\alpha$  Tauri-nál a fejlődés már egész határozottan felismerhető; itt már néhány eltérést is észlelhetünk a vonalak viszonylagos intenzitásában. Az  $\alpha$  Ursae majoris mintegy az utolsó fokot mutatja a *III. a. osztály* előtt; bár általában



már ez utóbbi osztályba tartozik, mégis hiányzanak színeképében a jellemző sávok. Az itt röviden vázolt különbségek a színeképekben külsőleg az illető csillagok színében is mutatkoznak, mely a fehéres-sárgából a narancssárgába megy át.

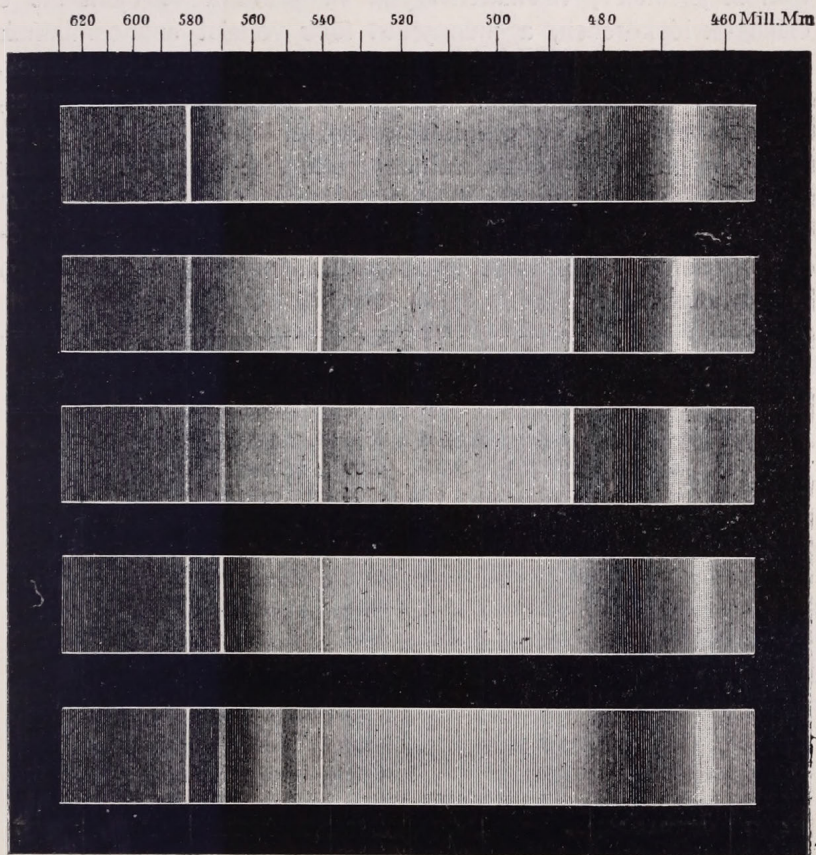
*II. b. osztály.* Ez osztály színeképeiben egyidejűleg sötét és fényes vonalak jelentkeznek; ezt az osztályt más néven Wolf-Rayet-féle típusnak is nevezzük, mert e két megfigyelő ismerte fel először e színekép jellemző tulajdonságait három csillagnál, melyek a Hattyú csillagképben vannak. Ma kb. 55 ilyen *II. b.* osztálybeli csillagot ismerünk, melyek az egyetlen  $\gamma$  Argus kivételével, mind gyöngye fényűek. Régebben alaki okokból az új csillagokat is idesorozták; miután azonban színeképüket behatóbban átvizsgálták, megszűnt a dolog jogosultsága és külön osztályba iktatták őket.

A *II. b.* osztályú csillagoknak a 698. lapon közölt táblázatát CAMPBELL állította össze; alább megmagyarázandó okokból a rektaszcenziókon és deklinációkon kívül a galaktikus hosszak és szélességek is meg vannak adva, vagyis a csillagok helyzete a Tejúthoz képest.

E táblázatból kitűnik, hogy a *II. b.* osztály csillagai úgyszólván kivétel nélkül a Tejúton belül fekszenek. A két legnagyobb eltérés galaktikus szélességben mintegy  $8^\circ$  és  $18^\circ$  és minden kétséget kizáróan látszik, hogy a WOLF-RAYET-féle csillagok tejútcsillagoknak tekinthetők. Ha oly rendszertelenül volnának eloszolva, mint más színeképű csillagok, akkor a Tejút pólusának közelében is találnánk közülök néhányat, mint a hogy ezt pl. a bolygószerű ködöknél látjuk. E csillagoknak másik érdekes sajátysága, hogy egészen határozott csoportokat alkotnak. Könnyűszerrel három nagyobb csoportot veszünk észre: 15 csillag (tábl. 8.-tól 22. számúig) a Tejútnak  $5\frac{1}{2}^\circ$ -nyi hosszúságú darabján található; 8 csillag (31.-től 38.-ig)  $5^\circ$  hosszúságú csoportot alkot; 9 csillag (44.-től 52.-ig)  $8^\circ$  hosszúságú sávon fekszik. Ezeken kívül még kisebb csoportokat is alkothatunk.

VOGEL vizsgálta meg először behatóan az ezen osztályba tartozó több csillagnak színeképét és azt találta, hogy a színeképek, bár rendkívül hasonlítanak egymáshoz, mégsem teljesen azonosak. A 183. rajzon láthatók a *II. b.* osztály csillagainak színeképei VOGEL szerint.

Igen behatóan vizsgálta meg ezt a színeképosztályt CAMPBELL is, a ki a Lick-obszervatórium nagy refraktorával dolgozott. CAMPBELL különösen a hidrogénvonalak különböző viselkedésére hívja



183. rajz.

föl a figyelmet. Ezek sok csillagban sötétek, másokban fényes szélekkel vannak határolva, mintha a kétszeres megfordítás jelenségét mutatnák. Ha a hidrogénvonalak fényesek, akkor a legkülönbélebb változatokkal találkozunk, a teljesen éleستől az egészen elmosódott sávokig, olykor meg éppenséggel több vonalra bomlanak; hasonlóképpen viselkednek a többi fényes vonalak is.



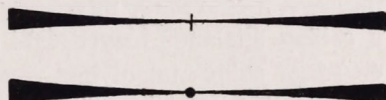
A következő táblázatot, mely a II. b. típus biztonsággal megállapított vonalait foglalja magában, CAMPBELL foglalta össze, és ez a táblázat határozottan mutatja a hidrogén, hélium és magnézium jelenlétét; valamint nagyon valószínű a vas jelenléte e csillagok légkörében, a mennyiben több vonalat azonosíthatunk oly vasvonalakkal, melyek a kromoszféraszínképben föltűnőek. A hidrogénnek és héliumnak megjelenése miatt egészen természetes, hogy e színképek és a ködök színképei között szükségképpen bizonyos hasonlóság van. Mindenesetre más gyengébb vonalak is azonosíthatók a köd színképében levőkkel; ehelyett azonban teljesen hiányzik a három legfőbb ködvonal, úgy hogy nem valószínű valami fizikai összefüggés a II. b. osztály csillagai és a ködök közt.

Hullám-hossz	Intenzitás	Elem	Köd színképek	Hullám-hossz	Intenzitás	Elem	Köd színképek
6564		$H\alpha$	6563	4517	erős		
5877	erős	$He (D_3)$	5876	4509	igen erős		
5848				4504	erős		
5813	igen erős			4493		$Fe$	
5693	igen fényes			4480	erős	$Mg$	
5593	fényes			4473	erős	$He$	4473
5472	fényes			4466	erős		
5412	igen fényes		541	4457			
5284		$Fe$		4442	igen erős	$Fe$	
5250				4416			
5131				4389	erős	$He$	4389
5020		$He? Fe?$		4369			
4990				4341	igen erős	$H\gamma$	4341
4862	igen fényes	$H\beta$	4862	4334			
4787				4318			
4688	igen erős		4867	4273			
4652	igen erős			4260			
4636	erős			4228			4230
4626	erős	$Fe?$		4200			
4615				4102	igen erős	$H\delta$	4102
4596				4063	erős		4067
4555		$Fe$		4023	erős	$He?$	4026
4541	igen erős						

A Wolf-Rayet-féle csillagok színképében levő fényes vonalaknak éppen úgy, mint az I. c. osztály eseteiben, kétféle jelentőséget

tulajdoníthatunk: a légkörnek vagy magas a hőmérséklete, vagy igen nagy a kiterjedése. A döntés ebben az esetben sokkal könnyebb, mint azoknál a csillagoknál, melyeknél csupa fényes vonalat találunk. Föltehetjük, hogy a légkörökben a különféle gázok vagy egyenletesen vannak keverve, vagy legalább is olyan az eloszlásuk, hogy a nehezebb gázok mélyebben helyezkednek el, mint a könnyebbek. Itt éppen a könnyű gázoknak, nevezetesen a hidrogénnek és héliumnak vannak leggyakrabban fényes vonalai, tehát éppen a légkör külső részei volnának a legmelegebbek, a mi legkevésbé sem valószínű. Ha a fényes vonalak jelenlétét itt is úgy akarjuk magyarázni, mint az I. c. osztálynál, tehát optikai egymásravetítéssel, egész természetesnek látszik, hogy a legkiterjedtebb gázok, vagyis a legkönnyebbek fényes vonalakat adnak. Egyetlen esetben, tudniillik a 43.

számú csillagnál, sikerült CAMPBELL-nek ezen állítás helyességét közvetlenül bebizonyítani. E csillag színeképében vannak a legélesebb vonalak, melyek közül különösen a  $H\beta$  és  $H\gamma$  a legfényesebbek. [Ha a távcsövet a színekép



184. rajz.

különböző részeinek fényes vonalaira élesen állítjuk be, e részekben a folytonos színekép vonalalakúnak látszik, a fényes vonalak pedig mint finom fénylő kis csomók mutatkoznak rajta, avagy igen keskeny rés használatánál finom vonalkáknak látszanak, melyek nem nyúlnak ki a színekép folytonos részéből, mint a hogy az pontalakú tárgyakkal várható is.

A  $H\beta$  vonal esetében széles rés használata mellett kimagasló széles csomót lehet egész határozottan felismerni, keskeny rés mellett pedig kimagasló vonalat (l. 184. rajz), a miből az következik, hogy a csillagot nagy kiterjedésű hidrogénréteg veszi körül, melynek átmérője mintegy  $5''$ .

Nehéz dolog volna megállapítani, hogy a csillagok fejlődésmenetében miféle helyet foglalnak el a II. b. osztály csillagjai.

Ha a fényes vonalakat tekintjük, rokonságot láthatunk az I. c. osztály csillagaival, vagy még inkább az I. a.-ba való átmeneti csillagokkal, melyeknél a hidrogénvonalak részben fényesek. Azonban minden bizonynyal a sötét vonalak miatt a II. osztályba sorozták őket. Nézetünk szerint a legjobb volna, ha az I. osztály



keretében külön alosztályt állítanánk föl számukra, minthogy a sötét vonalak szélesek és elmosódottak, ezért tulajdonképpen nem is mutatnak semmiféle hasonlatosságot a II. osztály csillagai-val. Később még vissza fogunk térni ezekre a kérdésekre.

*III. a. osztály.* A III. a. osztály jellemző tulajdonságainak nagy részével már megismerkedtünk: a II. a. osztály vonalai itt általában megerősödnek és gyakran sávokká folynak össze. A legfőbb sajátága e csoportnak az, hogy a színek optikai részében egyoldalúan a vörös felé elmosódott elnyelési sávok jelennek meg, anélkül, hogy a többi vonalat zavarnák. Ez osztálynak sok csillaga változó fényű csillag, még pedig periodusosan változó. E csillagok vörös színét könnyen megmagyarázhatjuk színekük-ből; ugyanis a sötét vonalak száma erősen fölszaporodik a színek nagyobb fénytörésű részeiben. A *G* vonalcsoporthoz a színek mintegy megszakad, úgy hogy a kék és ibolya részek alig emelik a csillag általános fényességét, a zöld is gyöngye, ellenben a vörös és sárga színek túlsúlyban vannak. Ugyanezt a jelenséget vesszük észre a II. a. osztály csillagainál, csak hogy kisebb mértékben és ezért sárgás fényben tündökölnék.

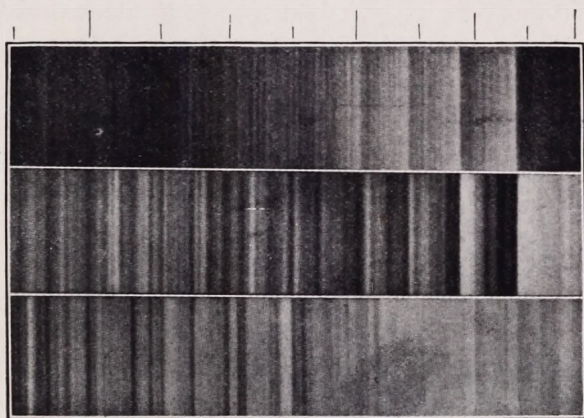
A fémvonalak általános erősödése mellett a túlnyomó számban megjelenő vasvonalaknak jut a legnagyobb szerep; SCHEINER vizsgálatai alapján azt mondhatjuk, hogy a vas színe éppen a legjellemzőbb az egész színekre nézve, minthogy a vonalaknak körülbelül fele a vastól származik. Más tekintetben, miként azt már említettük is, az egyes vonalak intenzitásviszonyai különböznek a Nap színeitől. Itt gyakran erős vonalak jelennek meg oly helyeken, ahol a Nap színeiben vagy egyáltalán nincsenek vonalak, vagy csak egészen gyöngyök a vonalak. SCHEINER szerint az egyik legfőbb sajátosság abban áll, hogy a legerősebb vonalak egy részénél az egyik oldalhoz kis elmosódott árnyék tapad, miáltal az egész kicsiben olyként fest, mint a milyen képet mutat nagyban a III. típus jellemző sávjaival, csak hogy a mi esetünkben a vonalak említett kiszélesedése nem mind egyirányú.

A III. a. osztály jellemző sávjait optikai úton főleg DUNÉR és VOGEL mérték ki. Tíz ilyen sávot lehetett fölismerni, amelyek azonban nem jelennek meg mind egyidejűleg az ez osztályba tartozó valamennyi csillagszínekben. Fotográfiai úton STEBBINGS még több sávot fedezett fel, melyeket az alábbi táblázatban összeállítva

találunk. STEBBINGS, VOGEL és SIDGREAVES még nagyszámú sávot mértek ki az  $\alpha$  Ceti színeképében, melyeket azonban az alábbi összeállításban nem közlünk, mert ez a csillag, melynek színeképét még bővebben fogjuk tárgyalni, nem képviseli a tiszta III. *a*. típust. A 185. rajzon legalúl a III. *a*. fotografiai színeképét (sárga rész) látjuk, összehasonlítva a III. *b*-vel (középső rész) és a szén-hidrogén színeképével (legfölül).

Egészen a legutóbbi évekig nem voltak tisztában avval, hogy mitől erednek az elmosódott sávok. Csupán azt az egyet lehetett

föltenni, hogy nem fémek gőzeiről van szó, hanem kémiai vegyületekről, melyekre igen gyakran egyoldalúan elmosódott sávok jellemzők. Nem rég FOWLER figyelmeztetett arra, hogy bizonyos körülmények között



185. rajz.

a titánnál jelennek meg oly egyoldalúan elmosódott sávok, melyek teljesen megegyeznek a III. *a*. osztály sávjaival. Úgy látszik e sávok titánoxidtól származnak, mert leginkább akkor jelennek meg, ha titánoxidot elektromos ívfényben elgőzöltetünk. E sávok a szikraszíneképben is láthatók titánklorid és közönséges levegő jelenlétében. Lehetséges azonban, hogy az egyszerű titánnak sávos színeképéről van szó, mely alacsony hőmérsékletnél fordul elő.

A III. *a*. osztály sávjainak táblázata (lásd a túloldalon) összehasonlítva a titánoxid színeképével. [A sávok éles szélei vannak megadva.]

HALE legújabbán kimutatta, hogy a sávoknak egy része a napfoltok színeképében is előfordul és így nem kételkedhetünk abban, hogy a III. *a*. osztály sávjait a titánoxid, vagy titán alacso-

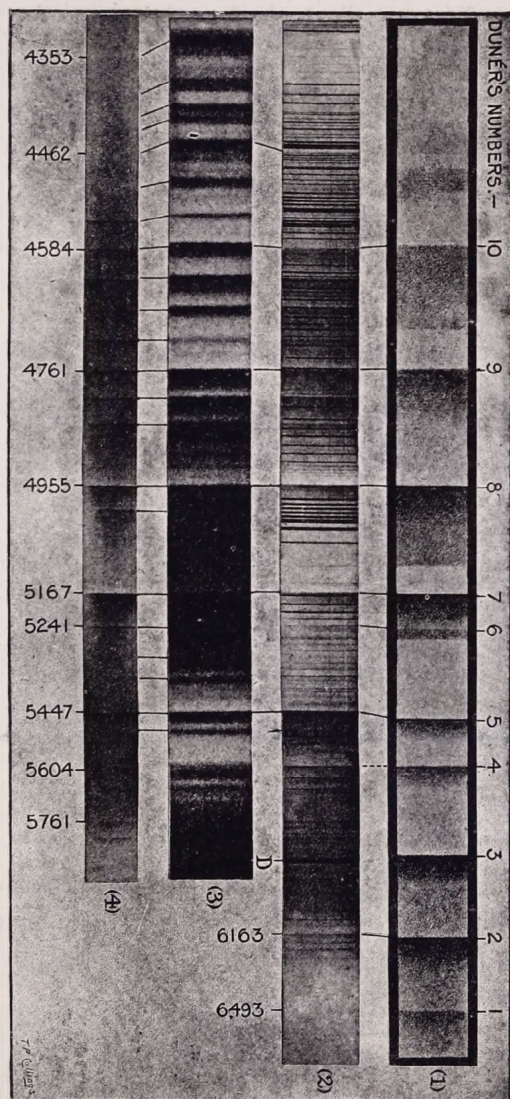


nyabb hőmérsékleten való elnyelése okozza. A titán különben is a II. *a.* és III. *a.* osztály csillagainál számos vonallal árulja el jelenlétét. Az a körülmény, hogy a III. *a.* osztály csillagainak légkörében a titán sávszínképe megjelenik, más következtetésekkel egyezésben ezen légköröknek aránylag alacsony hőmérsékletére mutat. A III. *a.* és a titánoxidszínkép közötti összehasonlítások eredményeit FOWLER szerint a 186. rajzon is láthatjuk, melyben az első színkép az  $\alpha$  Herculis látható színképe DUNÉR szerint, a második titánoxid elektromos ívszínképe, a harmadik az  $\alpha$  Ceti fotografiai színképe SIDGREAVES szerint és a negyedik titánoxidnak és titánkloridnak szikraszínképe. (Míthogy a színképek diszperziója nem egyforma, az egymáshoz tartozó sávok a rajzon kis vonalakkal vannak áthidalva.)

Szám	V. és D.	STEBBINGS	Titán-oxid	Szám	V. és D.	STEBBINGS	Titán-oxid
1	$\lambda$ 6493	—	—	—	—	4848	4847
2	6164	—	6163	—	—	4808	4806
3	5862	—	—	9	$\lambda$ 4767	4761	4762
4	5596	—	5605	—	—	4737	4738
—	—	5497	5498	—	—	4714	4715
5	5453	5447	5447	—	—	4667	4667
6	5243	—	5241	—	—	4626	4626
7	5169	5166	5168	10	4584	4608	4584
8	4960	4955	4955	—	—	4422	4422

A napfoltok és a fotoszféra színképe között nyilvánuló különbségek főleg egyes vonalak kiszélesedésében és megerősödésében állanak. Ez a különbség némelyik vonalnál erősen szembeötlő. Ugyanezt a jelenséget tapasztaljuk a II. *a.* osztályból a III. *a.*-ba való átmenetnél és ez a körülmény már régen figyelmeztetett bennünket arra, hogy a III. *a.* osztály színképe elvileg azonos a napfoltokéval. Eszerint a III. *a.* osztály csillagjainak felületét vagy legnagyobbbrészt foltok borítják, úgy hogy a közepes színképük hasonlít a napfoltokéhoz, vagy e csillagok légkörének általános állapota nagyon hasonlít a napfoltokéhoz. Az első nézetet erősen támogatja az a körülmény, hogy a III. *a.* osztály számos csillaga hosszú periodusokban változó fényességű. Könnyen elképzelhető ugyanis, hogy

ezen a csillagokon a foltok száma és nagysága általában az évet meghaladó periódusban feltűnő mértékben változik és ez idézné elő a tapasztalt fényességváltozásokat. Ennek egyenes bizonyítéka a legutóbbi időkig hiányzott, mert nem állottak rendelkezésünkre eléggé beható vizsgálatok a foltszínek és az általános napszínkép között. Csak a legutóbbi esztendőben MITCHELL, HALE és ADAMS vizsgálataival jutottak e kutatások annyira, hogy valamivel biztosabb következtetéseket lehetett vonni belőlük. HALE és ADAMS összehasonlították az  $\alpha$  Orionis fotografiai színképét a MITCHELL megfigyelte foltszínnel és azt találták, hogy számos vonal és sáv közelegyforma arányban erősebben lát-



186. rajz.

szik, mint a napszínképben. Különösen áll ez a vanádium, titán és mangán vonalaira. Ha ezt az azonosságot igazolni lehetne, akkor ez különös fontosságú volna azokra az ismeretekre, melyek Napunk



jövőjére vonatkoznak. A napfoltok keletkezését mintegy az öregedés jelenségeként értelmezhetnők. Tudniillik az égitestek haladó korával együtt a foltok oly mértékben növekszenek, hogy végül a légkör egész alkatában irányadó jelentőségük lesz, mihelyt a Nap fejlődésében elérte a III. *a.* típust. Döntő hatással volna ebben a tekintetben annak kimutatása, hogy a III. *a.* osztály változó fényű csillagai a minimumok alatt erősebben mutatják az osztály jellemző sajátságait, mint a maximumok alatt. Azonban még nagyon kérdéses dolog, hogy ennek kimutatása belátható időn belül lehetséges-e?

III. *b.* *osztály.* Ezen osztály csillagai mind gyöngfényűek; egyik sem haladja meg az 5. nagyságrendet, úgy hogy ezen érdekes csoport tanulmányozása meglehetősen nehézségekbe ütközik. A legelső gondos vizsgálatok e színekpekről HUGGINS, VOGEL és DUNÉR-től származnak. Meg lehetett állapítani, hogy a színeképben igen széles és nagyon sötét elnyelési sávok uralkodnak, melyek a vörös felé élesen vannak határolva, az ibolya felé elmosódottak. A sávok élesen határolt élének hullámhosszai VOGEL és DUNÉR szerint a következők, összehasonlítva a szénhidrogénsávok megfelelő hullámhosszaival, a mint azok az üstökösöknél láthatók.

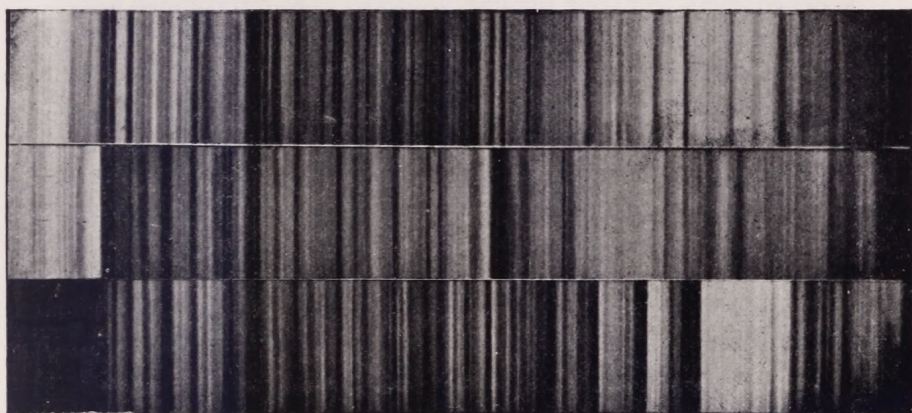
Hullámhossz

III. <i>b.</i>	Szénhidrogén
5633	5635
5162	5165
4729	4737
4370	4382

Tekintettel a hullámhosszmeghatározások nehézségeire e gyöngfényű színeképekben, ezek után kétségtelen, hogy e csillagok légkörében szénhidrogéngáz van jelen, mely erősen elnyelő hatást mutat.

Az említett megfigyelők más sávokat és vonalakat is találtak, melyek részben megegyeznek a napszínkép vonalaival, mint pl. a *D* és *E* vonal. De egyszersmind észrevették, hogy ezek a vonalak még jobban egyeznek a III. *a.* osztály fémvonaláival, úgy hogy, nem tekintve a sávokat, nagy hasonlatosságot lehetett megállapítani a III. *a.* és III. *b.* osztály színekpei között. A színekép fényének rohamos elgyöngyülése a *G* vonalcsoporthoz is megvan, sőt sokkal feltűnőbb a III. *b.*-ben, mint a III. *a.*-ban.

Ismereteinket a III. *b.* osztály színeképeiről lényegesen kiterjesztette az utóbbi években az a körülmény, hogy HALE-nek sikerült a Yerkes-obszervatórium nagy refraktorával olyan fotografiai fölvételeket készíteni e színeképekről, melyeknél aránylag erős diszperziót használt. A szénhidrogénsávokon kívül számos sötét vonal jelentkezik, melyek nagyrészt megegyeznek a napszínkép vonalaival, intenzitásukra nézve azonban leginkább a III. *a.* osztály vonalaival egyeznek meg, úgy hogy a III. osztály két alosztályának a fémek okozta elnyelésre vonatkozó és már előbb említett összefüggése



187. rajz.

igazolva van. Ezáltal egyszersmind a III. *b.* színeképek és a napfoltok közötti hasonlatosság is mintegy jelezve van, a melyet különben HALE még speciális vizsgálatokkal is bebizonyított. A 187. rajzon három színeképet láthatunk HALE fölvételei szerint. A legfelső összehasonlítás céljából van ott és a II. *a.* osztályhoz tartozik (Nap), a középső a III. *a.* osztályból ( $\mu$  Geminorum), a legalsó pedig a III. *b.* osztályból (132 Schjellerup) származik.

Sok elnyelési vonalat sikerült azonosítani: a kalcium nagyszámú és részben igen erős vonallal jelenik meg; a krómvonalak közül azok erősek, melyek a foltszíneképben széleseknek látszanak; a vas jelenléte kétségtelen, bár aránylag gyenge vonalakat mutat. Sajátságos a hidrogén viselkedése, a melyet legjobban úgy jellemezhetünk, hogy itt is hasonlóak a viszonyok, mint az I. *c.*-ből az



I. *a.*-ba való átmeneti csillagoknál, úgy hogy a hidrogénvonalak részben fényesek. A magnéziumvonalak erősek és nagyszámúak, éppen így a titán és vanádium vonalai is. Az eddig említett fémek vonalai intenzitásukban egyeznek a foltszínképek megfelelő vonalaival.

MITCHELL nagyon gondos vizsgálataira támaszkodva kétkezdéssel fogadja az eddigi eredményeket, melyek a III. *a.* és III. *b.* színképek, valamint a foltszínképek közötti megegyezésekre vonatkoznak. Ugyanis, nézete szerint, a csillagszínképek csekély diszperziója nem engedi meg a vonalak tökéletes azonosítását a foltok vonalaival. MITCHELL megállapította, hogy a Nap színképében néha egészen gyöngye vonalak a foltszínképben lényegesen megerősödnek, míg közvetlen szomszédságukban levő erős vonalak teljesen változatlanul maradnak. A csillagszínképben ilyen vonalpárt nem lehet szétválasztani; tehát nem is tudhatjuk, hogy a két vonal közül melyik erősödött meg. Ezt az ügyet ennél fogva még nem tekinthetjük tisztázottnak, ha mindjárt jelentékeny hasonlatosságot veszünk is észre a III. *a.*, III. *b.* színképek meg a foltszínképek között.

A szénhidrogénsávok igen tisztán láthatók HALE fölvételein; nemcsak a fősávok éleit, de a melléksávokéit is ki lehetett mérni rajtuk. Ezenkívül a cziánsávok is jelentkeznek, a mint azt a következő összeállítás mutatja:

A sávok élei		Cziánban
III. <i>b.</i> -ben	szénhidrogénben	
$\lambda$ 5639	$\lambda$ 5635	—
5588	5586	—
5544	5541	—
5505	5503	—
5169	5165	—
4739	4737	—
4717	4715	—
4697	4698	—
4609	—	$\lambda$ 4606
4578	—	4578
4555	—	4553
4532	—	4532
4515	—	4514
4503	—	4502
4381	4380	—

A csillagoknál a sávok hullámhosszai általában valamivel nagyobbak, mint a laboratóriumban előállított színeképekénél; ez a különbség azonban valószínűleg nem valódi, hanem inkább az egyoldalúan éles sávok kimérési nehézségeiből származik.

A legfontosabb eredmény, melyhez a HALE-féle fölvételek vezettek, számos fényes vonal fölismerése a III. b.-ben. Már SECCHI állította a III. b. osztály színeképeiben a fényes vonalak létét, DUNÉR és VOGEL azonban határozottan elleneztek ezt a nézetet s azt állították, hogy a fényes vonalak csak látszólagosak és nem egyebek, mint a folytonos színeképnek az elnyeletéstől mentes részei. Mindazonáltal később DUNÉR, jobb eszközök segítségével, még a színekép ilyen helyeiről is elismerte, hogy azok valószínű fényes, emissziós vonalak. Kétségtelen, hogy a HALE-féle fölvételek külső látszata inkább az emissziós vonalak mellett szól. De azért bizonyítéknak ez sem nevezhető, a mennyiben egyéni felfogás dolga, hogy emissziós vonalaknak, vagy elnyeletési hézagoknak tartjuk-e őket. E fontos kérdéssel behatóbban kell foglalkoznunk. Ugyanis már eleve nem valószínű, hogy valamely erősen kihűlőfélben levő csillag emissziós vonalakat bocsásson ki magából.

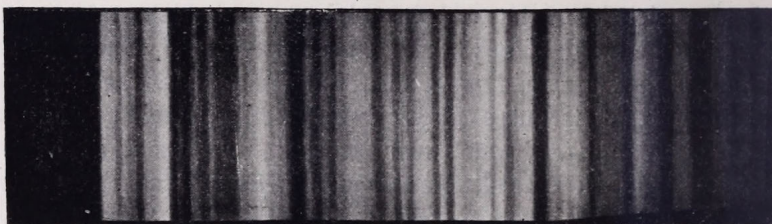
Az okok, melyeket HALE nézetének támogatására fölhoz, következők: a 152 Schjellerup jelzésű csillag színeképében a legfényesebb vonal,  $\lambda$  5592, a lemezeken már négy percznyi kintartási idő mellett jelentkezik, holott a folytonos színekép megfelelő helye csak tizenkét percznyi kintartás után hagy nyomot. Ha ez a hely a folytonos színeképhez tartoznék, föl kellene tennünk, hogy itt az erős, sárga szénhidrogénsávnak megszakadásával van dolgunk. Valóban mutatkozik is itt ilyen megszakadás. Mert ez a fényes hely közvetlenül a második részlet-sáv éle előtt van. A fényes rész pedig mindkét oldalon élesen határolt, holott a vörös felé akkor elmosódottnak kellene lennie. Azonkívül a folytonos színeképnek valamely világos helye annál rosszabbul volna látható, mennél nagyobb szórást használunk, minthogy ebben az esetben nagyobb a csíkok kiszélesedése. A valóságban azonban ez nincs így, hanem mennél nagyobb szórást alkalmazunk, annál határozottabban lehet a fényes vonalakat felismerni.

Ezen okok a mellett szólnak, hogy a világos részeket fényes



vonalaknak foghatjuk fel. Igen fontos ellenvetés azonban az, hogy mindeztideig nem sikerült a 213 fényes vonal közül, melyeket HALE ilyeneknek ismert föl, csak egyet is némi bizonyossággal azonosítani. Egészen természetes, hogy a vonalak ilyen nagy számánál egyesek máshonnan ismert vonalakkal összeesnek, pl. a *Wolf-Rayet*-féle csillagok vonalaival. Ez azonban rendszerint csak egyes vonalakra nézve érvényes és sohasem egy és ugyanazon októl (pl. elemtől) eredő egész vonalcsoportokra.

Valóban nagyon valószínűtlen, hogy olyan elem, mint a hélium, vagy más elemek, melyek a ködfoltokban szerepelnek, itt ne mutakozzanak, míg az égen egészen ismeretlen elemek emissziós színeképeket adnak. Ha azonban a világos részek nem



188. rajz.

vonalak, hanem csak hézagok, akkor a biztos vonalazonosítások sikertelensége meg van magyarázva.

HALE biztatására KEELER a Lick-obszervatórium nagy refraktorával megvizsgálta a 152 Schjellerup-csillagot és arra az eredményre jutott, hogy alig vonható kétségbe a fényes vonalak léte.

A fényes vonalak jelenléte a III. b.-ben tehát még nem tekinthető egészen bebizonyítottnak; azt azonban, hogy a látszat mennyire támogatja azok föltevését, a 188., 189. és 190. rajz mutatja, melyek a 152 Schjellerup színeképének különböző részeit tüntetik föl HALE fölvételei alapján. Lehet, hogy a középút lesz az igazi: lesznek itt talán valóságos fényes vonalak is, de sokkal kisebb számmal, mint azt HALE gondolta; legtöbb esetben csak hézagokról lesz szó, melyeket fényes vonalaknak fogtak föl.

A III. b. osztálynak eddig ismert 242 csillaga közül 48, tehát

20<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, változó fényű. PICKERING és HALE azt találták, hogy két csillagnál a  $H_{\beta}$  fényes vonala változik, a mennyiben intenzitása a teljes eltűnésig változhatik.

A mi e csillagok eloszlását illeti, kétségtelen, hogy általában ezek is sűrűsödnek a tejút felé. Ha a tejúttól 30<sup>0</sup>-nyira eső részen a csillagok eloszlási sűrűségét 1·0-gyel jelöljük, akkor PARKHURST szerint a következő táblázaton látható sűrűségi számokat kapjuk az egyes galaktikus szélességi övek számára. Összehasonlításként a táblázat 3-ik oszlopában a 6·5–9·5 nagyságrendű csillagok megfelelő sűrűségi számait látjuk a bonni csillagkatalógusszerint.

189. rajz.

190. rajz.



Galaktikus szélesség	III. b.	B. katalógus
0°—5°	18·3	2·7
5°—10°	9·2	2·6
10°—20°	6·0	2·1
20°—30°	1·9	1·5
> 30°	1·0	1·0

A III. b. osztály csillagainak sűrűsödése a Tejút felé hétszer akkora, mint az összes csillagoké általában, és így ezeknél is ugyanazt a törekvést látjuk, mint a II. b. osztály csillagainál. Azonban behatóbban szemügyre véve a dolgot, azt vesszük észre, hogy ez a törekvés nem is olyan nagy, mint a hogyan a számadatokból látszik. SCHEINER kimutatta, hogy a csillagok számának általános növekedése a Tejút felé sokkal nagyobb, mint a hogy azt a bonni csillagjegyzék alapján fölvelték, minthogy csillagokban szegény helyeken sok olyan csillagot is megfigyeltek, melyek lényegesen gyöngébb fényűek a 9·5-nél. Sűrűbb helyeken azonban ennek éppen az ellenkezője történt és így a III. b. osztálynál a sűrűség növekedése talán mindössze kétszer akkora, mint a többi csillagoknál, de azért mégis határozottan fölismerhető.

Most áttérünk azon nézetek tárgyalására, melyeket HALE a III. b. osztály csillagainak fizikai szerkezetéről alkotott.

Arra a kérdésre, hogy mily magasságú az a légkörreteg, melyben a szénhidrogén elnyelése történik, megfigyelhetünk azon megfigyelések alapján, melyeket HALE a naplégkör színekének tanulmányozásánál tett. A legelőnyösebb körülmények mellett föl lehetett ismerni a zöld sávnak fényes szénhidrogén vonalait a napkorong peremén, a kromoszféra aljában. Minthogy a távcső legcsekélyebb elmozdulásakor ezek a vonalak mindjárt eltűntek, következik, hogy a szénhidrogénréteg igen vékony, talán csak 1" vastagságú. Az 1898. januáriusi napfogyatkozás alkalmával a cziánsávokat is le lehetett fotografálni, mint a flash-színkép legrövidebb vonalait. Ebből analógia alapján azt a következtetést vonhatjuk, hogy a III. b. osztály csillagain is a szénhidrogénréteg közvetlenül a fotoszféra fölött van; ezt igen valószínűvé teszi az a körülmény, hogy több fényes vonal van a szénhidrogén-sávokra vetítve, melyeknek megfelelő gázai minden bizonynyal

a szénhidrogénréteg fölött fekszenek. Ha azonban már közvetlenül a fotoszféra fölött chemiai vegyületek lehetnek, akkor a hőmérsékletnek meglehetősen alacsonynak kell lennie. Ennek, valamint az elnyelés növekedésének további bizonyítékát a fémvonalak viselkedésében láthatjuk. Különösen érdekes ebben a tekintetben a kalcium viselkedése. Laboratóriumi kísérletekből ismeretes, hogy a  $\lambda$  4227 hullámhosszúságú kalciumvonal erősödik, ha a kalciumgőz hőmérséklete leszáll, vagy sűrűsége növekszik. A Bunsen-égőben ez a vonal igen fényes, míg a *H* és *K* hiányzik. De pl. igen erős a 19 Piscium színeképében, valamint a III. *a.* osztály színeképeiben.

Ugyancsak e mellett szól a napfoltok és a III. *b.* osztály színeképei közötti hasonlatosság. Sokkal valószínűbb, hogy a napfoltok megjelenése a csillagoknak későbbi és nem korábbi fejlődési fokával áll kapcsolatban. E szerint a vörös csillagokon feltűnőbb mértékben kellene foltoknak lenniök. E csillagoknál oly gyakran tapasztalt fényváltozás csak megerősíti a nagyszámú foltok létének valószínűségét.

Ámbár a III. *b.* fényes vonalai korántsem azonosíthatók a II. *b.* (WOLF-RAYET-féle csillagok) vonalaival, mégis e két osztály között látunk némi hasonlatosságot, a mennyiben mind a kettőben fényes és sötét vonalak egyidejűleg vannak jelen. A fényes vonalak keletkezését itt is úgy magyarázzuk, mint azt SCHEINER tette az I. *c.* és II. *b.* osztály csillagainál.

A sötét elnyelési vonalak, nem tekintve a jellegzetes sávokat, annyira megegyeznek a III. osztály két alcsoportjánál, hogy azok alapján e két alcsoportot alig lehetne egymástól szétválasztani. Azonkívül a cziánsávok dolgában is megegyeznek. Mindent összefoglalva, HALE a következő közös tulajdonságokat állapította meg a III. *a.* és III. *b.*-re nézve: 1. a csillagok színe vörös, 2. jellegzetesen törekszenek a változófényűsége, 3. a sötét vonalak feltűnően hasonló, 4. lehetséges, hogy mindkét színekép ugyanazokat a vonalakat tartalmazza, melyek a napfoltokban kiszélesednek, 5. hasonló fizikai alkat, melyet a színeképek karaktere jelez, 6. fényes vonalak jelenléte a színeképekben (ezek jelenléte a III. *a.*-ban azonban nagyon kérdéses), 7. sötét sávok jelenléte a színeképekben, melyek közül a cziánsávok közösek, 8. e két színeképcsoport összefüggése egymással és a II. *a.* osztály színeképeivel. Mindezekből vég-



eredményként az következik, hogy a III. *a.* és III. *b.* valóban egymással összefüggő csoportok és hogy fejlődési fokuk egyforma. A III. *b.* osztály csillagai ennél fogva éppen úgy, mint a III. *a.* tagjai, lehülés útján a II. *a.*-ból fejlődtek.

*A csillagok eloszlása színképük szerint.* Az eddigiekben a különböző osztályok és alosztályok színképeinek sajátosságait tárgyaltuk. Akadnak helyenként csillagok, melyeknek színképe némely tekintetben elüt a rendes alaktól. Mielőtt azonban az eltérések részletezésébe foglalkozunk, előbb a csillagoknak az égen való színpompájuk szerinti eloszlását fogjuk tárgyalni. Ez a feladat különösen fontos azért, mert a különböző színtípusok az állócsillagok fejlődési történetével állanak kapcsolatban úgy, hogy az egymásmellettségéből következtethetünk az egymásutániságra, vagyis azon időközökre, melyeket a csillagok egy bizonyos fejlődésfokon töltöttek.

Ezideig az égnak két színpompájának átkutatása áll rendelkezésünkre: a potsdami, melyet VOGEL és MÜLLER végzett, mely azonban aránylag keskeny zónára terjeszkedik ki, —  $1^{\circ}$ -tól  $+20^{\circ}$  deklinációig; és a PICKERING-féle összeállítás (másnéven Draper Catalogue), mely fotografiai úton készült és —  $25^{\circ}$ -nyi deklinációtól egészen az északi sarkig terjed. Az első 3700 csillagot foglal magában, a második 10 345-öt. A potsdami kutatás szerint a csillagok a következő eloszlást mutatják az egyes osztályok szerint: I. *a.*  $58\%$ , II. *a.*  $34\%$ , III. *a.*  $8\%$ , III. *b.*  $0.3\%$ .

A Draper Catalogue szerint: I. *a.*  $62\%$ , II. *a.*  $37\%$ , III. *a.*  $1\%$ . Ha az utóbbi katalógusnál csak azokra a csillagokra vagyunk tekintettel, melyeknek fényessége a 6-ik nagyságrendig terjed, tehát számszerint 4334 csillagra, akkor az eredmény: I. *a.*  $73\%$ , I. *b.*  $2\%$ , II. *a.*  $23\%$ , III. *a.*  $1\%$ .

Az ilyen különböző úton kapott eredmények egyezése kielégítőnek tekinthető. Belőlük következik, hogy az I. *a.* osztályba az összes csillagoknak több mint fele tartozik és az ezen fölül fennmaradó csillagoknak legalább háromnegyed részét a II. *a.* osztály foglalja magában. A III. osztály számára már csak néhány százalék marad. Azt a kérdést, hogy honnan ered ez az egyenlőtlen megoszlás, közelebbről akarjuk megvizsgálni, ha mindjárt a föltevésnek mezejére kell is lépniünk. A kérdés pontosabban fogalmazva így hangzik: »miért lesz a csillagok száma mindig kisebb, mennél előrehaladottabb kihülésük és összesűrűsödésük foka?« A felelet

megadása céljából föltehetnők, hogy a csillagok keletkezése az egész csillagrendszerben egyidejűleg vette kezdetét és mivel a lehűlés bizonyos megadott idő alatt a csillag tömegétől függ, ennél fogva a fehér csillagok a legnagyobbak és a III. típus csillagai a legkisebbek. A mi Napunk eszerint közepes nagyságú csillag volna és a többiek legnagyobbbrészt jóval nagyobbak nálánál.

Világos, hogy az egyes csillagok egymástól különböző tömegeiknek megfelelőleg minden körülmények között kifejlődésük időtartamára nézve is különbözni fognak egymástól. Épp ezért a fönti magyarázatot sem utasíthatjuk vissza kereken. De éppen a csillagok eloszlásának módja arra figyelmeztet bennünket, hogy ez a magyarázat valószínűtlen. Föl kell tennünk, hogy a csillagok tömegei nagy számuknál fogva egészen véletlen szerinti eloszlást mutatnak, vagyis a közepes nagyságú tömegek a leggyakoribbak, a túl nagy és túl kicsi tömegek ritkábban fordulnak elő. Ennél fogva a csillagoknak legnagyobbbrészt valamilyen közepes színekép-állapotot kellene mutatniok, tehát semmiesetre sem szabadna az I. a. osztálynak uralkodnia.

Azt hiszszük, hogy a tudomány mai állása szerint a színekép-típusok eloszlására nézve az egyetlen jogosult magyarázat a következő:

Ha a látható csillagrendszer valóban elkülönült sziget a mérhetetlen világűrben, akkor e rendszer fejlődésének, bár a világegyetem időbelileg végtelen, mégis lehet valami kezdete. Ezt a kezdetet koránt sem kell úgy fölfogni, hogy valamennyi csillag egyidőben jut abba az állapotba, a melynél a csillag fogalma egyáltalán kezdődik, hanem a kezdet tartama ugyanolyan rendű lehetne, mint valamely csillag kifejlődésének tartama. Ezen idő alatt örökös keletkezés és elmúlás megy végbe; a fejlődésnek valamennyi közbeeső fokozatát megtaláljuk a térben és a csillagoknak abszolút kora teljesen a véletlen szerint van elosztva. Semmi okunk sincs föltenni, hogy mi nem abban az időben élünk, melyben ez az örökös keletkezés és elmúlás történik. Minthogy a csillagok tömegére nézve ugyanez érvényes, ennél fogva viszonylagos koruk szintén a véletlen szerint oszlik el. E szerint valamennyi színekép-osztálynak egyforma gyakorisággal kellene szerepelnie, föltéve, hogy az egyes osztályokban való megmaradás időtartama is egy-



forma. Ez azonban határozottan nem így van, hanem annak az állapotnak a tartama, melyben a csillag még jelentékenyebb sűrűsödésre képes (lásd HELMHOLTZ elméletét az 513. lapon) hosszabb, mert ezen folyamat által a kisugárzás következtében előálló hővesztés jobban pótlódik.

Legnagyobb a sűrűsödés lehetősége természetesen azon csillagoknál, melyeknél a sűrűsödés még nem olyan előrehaladott, tehát főleg az I. osztálybelieknél. Ezután következnek a II. és végül a III. osztály. Ez a föltevés minden erőltetés nélkül megmagyarázná az egyes típusok viselkedését. Sőt megfordítva, ezen viselkedésből következtethetünk az egyes színképosztályokban való megmaradás viszonylagos időtartamára. Az itt vázolt fejlődés-menetből következik, hogy kell sötét csillagoknak is lenniök. Ezek a III. osztály tovább lehűlt csillagainak végállapotát jelzik.

A csillagoknak eloszlását az I. osztály alcsoportjai szerint VOGEL és WILSING színképfotografiai vizsgálatainak eredményeiből állíthatjuk össze. Ezen vizsgálatok az említett osztály csillagait az 5. nagyságrendig  $5^0$  deklinációtól egészen az északi sarkig foglalják magukban. Az eredményt a következő táblázat tünteti föl:

Színképosztály	Szám
I. $a_1$	53
I. $a_2$	184
I. $a_3$	87
I. $b.$	100
I. $c.$	1

Ezek alapján az I.  $a.$  alosztály háromszor annyi csillagot tartalmaz, mint az I.  $b.$  A hélium szereplése tehát meglehetősen korlátozott. Az I.  $c.$  osztályból még mindig csak az egyetlen  $\gamma$  Cassiopeiae ismeretes, mégis ide lehetne sorozni azokat a csillagokat, melyeknél a hidrogénvonalak részben fényesek.

Számtalan kísérlet történt arra nézve, hogy az állócsillagok színképbeli különbségeit statisztikai úton más tulajdonságokkal hozzák összefüggésbe.

Az ilyen eredményeket mindig kissé kételkedve kell fogadnunk. Egyet közülök mégis megemlítünk, mert igen föltűnő. GORE kimutatta,

hogyan a legnagyobb saját mozgással bíró csillagok legtöbbször a II. színeképosztályhoz tartoznak. Ezt a következő táblázat mutatja:

Csillag	Saját- mozgás	Színekép- oszt.	Csillag	Saját- mozgás	Színekép- oszt.
Groombridge 1830 ...	7·0	I.	Sirius ...	1·3	I.
61 Cygni ...	5·2	II.	Procyon ...	1·3	II.
40 Eridani ...	4·1	II.	LL. 27744 ...	1·3	II.
$\mu$ Cassiopeiae ...	3·7	II.	$\gamma$ Serpentis ...	1·3	II.
Piazzini II. 123 ...	2·4	II.	85 Pegasi ...	1·3	II.
$\alpha$ Bootis ...	2·3	II.	$\eta$ Cassiopejae ...	1·2	II.
Bradley 3077 ...	2·1	II.	$\delta$ Triang ...	1·2	II.
$\tau$ Ceti ...	1·9	II.	43 Coronae ...	1·2	II.
$\sigma$ Draconis ...	1·9	II.	36 Ophiuchi ...	1·2	II.
61 Virginis ...	1·5	II.	$\theta$ Ursae majoris ...	1·1	II.
B. A. C. 160 ...	1·4	II.	70 Ophiuchi ...	1·1	II.
20 Mayeri ...	1·4	II.	LL. 16304 ...	1·0	II.
Groombridge 1618 ...	1·4	II.	72 Herculis ...	1·0	II.
$\tau$ Persei ...	1·3	II.	31 Aquilae ...	1·0	II.
Weisse 1189 ...	1·3	I.			

E 29 fényesebb csillag közül, melyeknek színeképe ismeretes, 26 csakugyan a II. színeképosztályba tartozik.

Bővebben kell még kiterjeszkednünk arra, hogy vajon helyes-e a VOGEL-féle osztályozás alapelve, mely az állócsillagoknak a kisugárzás okozta hőmérsékletcsökkenésével járó fejlődését tekinti. E megfontolásnál két dolgot kell bebizonyítani. Először ugyanis azt, vajon az eddig felsoroltakon kívül más okok is amellet szólnak-e, hogy a hőmérséklet az I. osztály csillagain magasabb, mint a II., vagy éppen a III. osztályú csillagoknál. Másodsorban azt kell bebizonyítanunk, hogy a fejlődés menete valóban a melegebb csillagból a hidegebb csillag felé halad és nem megfordítva.

A földadat első részét kétféle úton közelíthetjük meg. Sokat tárgyalt dolog, hogy ugyanazon gőzök színeképei, az előállítás módja szerint, bizonyos eltéréseket mutatnak: más a lángban, más az elektromos ívfényben előállított színekép. Az eltérés főleg az egyes vonalak viszonylagos intenzitásában mutatkozik. Ez annyira fokozódhatik, hogy az egyik előállításmódnál észlelhető vonalak a másik módnál teljesen hiányzanak. Bár a fénynek elektromos úton való előállítása,



különösen elektromos szikra útján, meglehetősen bonyolult természetű, mégis a színképekben mutatkozó ilyen eltéréseket minden erőltetés nélkül hőmérsékletkülönbségekre, mint legfontosabb tényezőre vezethetjük vissza. A hőmérséklet a lángtól az ívfényig és onnan a magasfeszültségű szikráig állandóan növekszik. Már sokszor kétségbe vonták, hogy a színképbeli különbségeket a hőmérséklet okozza. Azt gondolták, hogy inkább az elektromos kisülés jelenségének belső természetével állanak összefüggésben. De mindeztideig egyetlen pozitív bizonyítékot sem sikerült találni e nézet támogatására. Az e téren elért legújabb eredmények inkább arra vallanak, hogy a világító gázok sugárzásjelenségei lényegükben úgynevezett hőmérsékletsugárzások. De ebben az esetben a színképbeli különbségeket igen könnyen magyarázhatjuk, minthogy még csak azon sokszor beigazolt föltevésre van szükségünk, melynek értelmében az elemek különböző hőmérsékleteken és más körülmények között allotróp módosulatban lehetnek. Példaképpen csak a kén és foszfor viselkedésére utalunk. Némely fémgőz különféle allotróp módosulatainak egymástól eltérő színképek felelnek meg különböző hőmérsékletek mellett.

SCHEINER figyelmeztetett legelőször arra, hogy a magnéziumnak két kék vonala különféle színképtípusokban mind erősségre, mind szélességre nézve ellentétesen viselkedik. E vonalak egyike,  $\lambda$  4481, az első osztály színképeiben többnyire igen erős és széles, majdnem olyan, mint a hidrogénvonalak, a második osztályban, pl. a napszínképben sokkal gyöngébb, de még határozottan kivehető, a harmadik osztályban pedig már nem lehet bizonyossággal kimutatni. Egészen ellentétesen viselkedik a másik magnéziumvonal,  $\lambda$  4352: az első osztályban hiányzik, a Nap színképében jól látható, a harmadik típusnál pedig a legerősebb vonalak közé tartozik.

Hasonló jelenséget állíthatunk elő a laboratóriumban. Ha magnézium-drótok között erős elektromos szikrát ugratunk át, akkor az első vonal igen erős, a második viszont hiányzik, vagy alig ismerhető fel. Szénelektrodok között az elektromos ívben magnézium jelenléte mellett az 1 vonal alig, a 2 erősen és jól látható. Égő magnéziumban az 1 vonal teljesen hiányzik. Tudnunk kell, hogy az égő magnéziumgőz hőmérséklete  $3000^{\circ}$  alatt van, az elektromos ívé jóval följebb,  $3500^{\circ}$  és  $5000^{\circ}$  között, a nagy-

feszültségű elektromos szikráé mindenestre még ennél is magasabb, bár erre nézve biztos adatok nem állanak rendelkezésünkre.

Arra következtethetünk tehát, hogy az I. osztály csillagainak felszíne vagy fotoszférája magasab hőmérsékleten van, mint a II. osztályba tartozó sárga csillagoké. A hőmérséklet a II. osztálynál valamivel magasabb, mint a szénelektrodok közötti elektromos fényé. A III. osztályba tartozó vörös csillagok hőmérséklete azonban jóval alacsonyabb.

KEELER kiegészítette és kibővítette ezeket a következtetéseket a zöldben fekvő (*b*) magnézium-vonalcsoport viselkedése alapján. A magnéziumszínképnek ez a *b*-csoportja minden laboratóriumban előállított hőmérsékletnél igen erősen látszik, némely csillagszínképben ellenben igen gyöngén, bár a  $\lambda 4481$  melletti vonal azokban elég erős, pl. Sirius, Wega és Rigel színképében. A *b*-csoport a másodrendű magnéziumvonalsorozat jellemző tripletjeihez tartozik (lásd a 193. oldalon), ellenben a  $\lambda 4481$  vonal nem. KAYSER és RUNGE általánosságban kimutatták, hogy igen magas hőmérséklet mellett nem állhat fön az a molekulaszervezet, melynél az alsóbbrendű vonalsorozatok jelentkezni szoktak. KEELER ezért fölteszi, hogy a szóbanforgó csillagokon még magasabb hőmérséklet uralkodik, mint a melyet szikrával előállíthatunk.

A hőmérsékletmeghatározásnak másik módszere a folytonos színkép különböző részein végzett viszonylagos fényességméréseken alapszik.

Ismeretes, hogy a KIRCHHOFF-féle függvény értelmében a növekvő hőmérsékletnél a színkép két helyének fényességviszonya is növekszik, ha e viszonyt a kisebbedő hullámhosszak szerint képezzük (ibolyavörös). Ha a csillagok fotoszférái a fekete testekhez hasonlóan viselkednének, akkor ezen viszonyokból, a fekete testen végzett közvetetlen mérések alapján, a valódi hőmérsékletet kiszámíthatnók. Minthogy azonban ezt nem tehetjük föl bizonyossággal, ennél fogva az így levezetett hőmérsékletet is csak úgynevezett effektív hőmérsékletnek nevezhetjük. Az egyes színképrészek viszonylagos fényességének mérése színképfotométer segítségével történik. De az ekként kapott méréseredményeket csak nagy óvatossággal szabad fölhasználnunk. Az I. osztály csillagainál, melyeknek színképében csak kevés elnyelési vonalat látunk, egészen



helyes eredményhez jutunk. De másképpen áll a dolog a II. és különösen a III. osztálynál. Már említettük, hogy itt a vonalak száma az ibolya felé jelentékenyen szaporodik, úgy hogy a kék és ibolya színeképrések aránylag gyöngé fényessége ezeknél a csillagoknál nem kizárólag az alacsony hőmérsékletre vezethető vissza. A III. típusnál az ibolyarész a *G*-csoporttól kezdve egészen hiányzik, még pedig kétségtelenül az elnyelés, nem pedig a hőmérsékletnek olyannyira alacsony volta miatt, hogy ezek a csillagok ibolyafényt nem is bocsátának ki magukból.

WILSING és SCHEINER az utóbbi években végeztek a csillagokra nézve ilyen színekfotometriai vizsgálatot. Ők az említett körülményre különös figyelmet fordítottak, amennyiben vizsgálataikat csak a vonalakban szegény színeképrésekre terjesztették ki. Még be nem fejezett vizsgálataik alapján igazolva van az, hogy az I. osztály csillagai a legmelegebbek, azután következik a II. és III. osztály. Most megvizsgáljuk, hogy ugyanez a sorrend van-e meg az állócsillagok időbeli fejlődésmenetében?

Ez a gondolat látszólag a legtermészetesebb és legegyszerűbb, mert közvetlenül azon a tapasztalaton alapszik, hogy a magára hagyott meleg test a kisugárzás következtében mindinkább lehűl. Meg kell azonban gondolnunk, hogy az állócsillagok nem laboratóriumi testek, melyeknek hőmérséklete a hőveszteségek következtében minden körülmények között alászáll, hanem óriási terjedelmű gáz-tömegek, melyek egészen másképpen viselkednek. HELMHOLTZ bebizonyította, hogy gázalakú égítetek összehúzódása következtében hosszú időre olyan hőmérsékletemelkedés keletkezik, hogy az a kisugárzás következtében előálló hőveszteséget nemcsak pótolja, de még túl is szárnyalja. Nem vonhatjuk kétségbe, hogy a Napnak mostani hőmérsékletgyensúlya is erre vezethető vissza.

Vegyük alapul a KANT-LAPLACE-féle kozmogóniai elméletet. A naprendszer mai energiakészlete és a kisugárzás által az idők folyamán elvesztett energiamennyiség közel egyenletesen volt elosztva, igen nagy kiterjedésű és nagyon ritka anyaggal kitöltött térben, melynek külső hőmérséklete csak kevéssel lehetett nagyobb a környező világűr hőmérsékleténél. Összehúzódás következtében létesült a mai állapot. Az őszanyag legnagyobb része most viszonylag kicsiny térben foglal helyet igen magas hőmérséklet mellett.

Az összehúzódás tehát nemcsak hogy elegendő volt az eredeti hőmérséklet megtartására, hanem a hőveszteség ellenére még jelentékenyen emelkedett is. Ha a Nap fejlődésmenetéről alkotott föltevésünk helyes, akkor minden csillagnál a hőmérsékletet föltüntető görbében egyszer fordulópontnak kellett beállania.

WILSING szerint HELMHOLTZ elméletének fölvevése mellett az idevonatkozó jelenségeket igen egyszerűen tudjuk megmagyarázni, ha a mechanikai hőelmélet első főtételét alkalmazzuk. Állítsuk elő az összefüggést a kisugárzás folytán bekövetkező hőveszteség és a gravitációs munka között. Akkor a következő szabályhoz jutunk: valamely égitestnek kisugárzás folytán az időegység alatt beálló hővesztesége egyértékű a gravitációs erőnek ugyanazon idő alatt a tömeg összesűrítésénél végzett munkájával. Ha továbbá fölteszszük, hogy a sugárzás a STEFAN-féle törvény szerint történik, tehát az égitestet fekete testnek tekintjük, akkor a hőmérséklet aszimptotikusan közeledik az  $\left(\frac{a}{\varepsilon}\right)^{1/4}$  értékéhez, mely ki-

fejezésében  $\varepsilon$  pozitív állandó,  $a$  pedig csak kicsiny időközre állandónak tekinthető mennyiséget jelent. WILSING arra a következtetésre jut, hogy a hőmérséklet és sugárzás csak igen lassan növekszik az összesűrítés munkájával arányosan. A I. típusban a hőmérséklet eléri maximumát és ezzel egyszersmind az anyag összesűrítésénél az időegység alatt végzett munka is. Minthogy itten a hőmérsékletet feltüntető görbének fordulópontja van, a fejlődésnek ez a szaka aránylag hosszú időtartamú. Ha a fejlődés már a II. típusig jutott, a hőmérséklet és munkamennyiség már tetemesen kisebbedett. A munkamennyiség állandó értékhez közeledik. Ebben az állapotban, melyben a mi Napunk is van, a hőmérséklet és sugárzás csak igen nagy időközökben mutat észrevehető változást. Végül a III. típuson át az égitest anyaga aszimptotikusan közeledik a legnagyobb sűrűséghez, hőmérséklete pedig a világűr hőmérsékletéhez.

Csillagrendszerünk tagjainak eloszlása a különböző színekposztályok szerint fölvilágosít bennünket arról, hogy miféle színképösszhatást mutatna a mi rendszerünk oly nagy távolságból tekintve, mint a hogy mi pl.: a csillaghalmazokat látjuk.



A csillagoknak több mint fele az első színképosztályhoz tartozik. Ezért az összszíneképben is az I. típusnak kell uralkodnia és talán gyöngye nyomai lesznek még benne a II. a. osztály színképének.

Ha azzal a föltevessel élünk, hogy a folytonos színképet mutató ködfoltok önálló, tőlünk rendkívül nagy távolságban levő csillagrendszerek, akkor összehasonlításuk a mi csillagrendszerünkkel igen tetszetős gondolatnak látszik. A míg azonban ez csak föltevés, a hasonlat nem nyugszik biztos alapon és nem is tekintjük egészen jogosultnak. Egyáltalában nem ismerjük azokat a föltételeket, melyek között gáznemű ködfoltok világítanak, ezért nem aggályos az a föltevés, hogy a világító ködöknel esetleg gázok is folytonos színképet mutathatnak. Sőt a ködfoltokban minden képzeletet fölülmuló anyagritkítást kell föltennünk, hogy az egészen elmosódó sávok, vagy a folytonos színkép helyén jelentkező éles, fényes vonalakat egyáltalán megmagyarázhassuk. Csak a színképelemző készülék dönthet e kérdésben: ha a ködfoltok folytonos színképében sötét elnyelési vonalak jelentkeznek, akkor állócsillagok rendszerével van dolgunk, ha az elnyelési vonalak hiányzanak, a kérdés eldöntetlen marad.

A folytonos ködszínképek gyöngesége miatt a kérdést sokáig nem lehetett eldönteni. VOGEL-nak az a megfigyelése, hogy a ködök folytonos színképében a zöld rész a legfényesebb, míg pl. a napszínképben a sárga szín uralkodó, visszavezethető a PURKINJE-féle tűnemény hatására, mely gyöngye színképénél jelentkezik. 1899-ben sikerült SCHEINER-nek tükörtávcsővel összekötött igen fényerős kis spektográffal  $7\frac{1}{2}$  órai kinntartás mellett az Androméda-köd középső részének igen jó színképét megkapni. Egnéhány sötét vonalat mutat, melyek megegyeztek a napszínképben látott vonalakkal, a mint a mérésekből kitűnt. A napszínképhez való hasonlatosság különben nemcsak e vonalakra szorítkozik, hanem az egyes színképrészek intenzitásviszonyára is. Ezt az eredményt később HUGGINS is igazolta.

Ezzel véglegesen bebizonyosodott, hogy az Androméda-köd állócsillagok rendszere és továbbá, hogy csillagainak többsége a II. színképosztályba tartozik, ellentétben a mi csillagrendszerünkkel. A II. osztály előrehaladottab fejlődésfokot képvisel, mint az I. osztály. Így arra következtethetünk, hogy az Androméda-köd rendszere aránylag idősebb, mint a mienk.

Ennek fölismerése után föl vagyunk jogosítva arra, hogy saját csillagrendszerünk alakját is összehasonlítsuk más csillaghalmazokkal. Talán a legegyszerűbb és legtermészetesebb, ha csillagrendszerünket a Tejútval együtt oly gyűrűnek tekintjük, melynek középső magja van. Ennek azonban ellenmond az a körülmény, hogy gyűrűalakú ködök kivétel nélkül gázszínképet szolgáltatnak. Ha a ködöknek csak azon lehetséges alakjaira vagyunk tekintettel, melyek folytonos színképet szolgáltatnak, akkor a mi Tejútrendszerünkkel csak a korong- és orsóalakúakat lehetne összeegyeztetni. Az utóbbiakat olyan korongoknak tekinthetnők, melyeknek síkja a látóvonallal majdnem egybeesik. Rendszerünket már HERSCHEL óta korong- vagy lencsealakúnak tekintették. Több ok azonban határozottan ellenkezik ezzel a fölfogással, különösen a Tejútról készített fotografiai fölvételek. Másrészt a korong- vagy orsóalakú ködök gyakran spirális ködöknek bizonyultak. Ez pedig arra a gondolatra vezethet minket, hogy a mi rendszerünket is ilyen spirális ködnek tekintsük. Ha magunkat spirális köd közepébe képzeljük, akkor annak valódi alakját föl nem ismerhetjük, mint-hogy benne vagyunk a spirálisnak a síkjában. Egyes részei többé-kevésbé elfödik egymást és az egész rendszer kissé szabálytalan gyűrűnek fog látszani olyformán, mint a Tejút. Erre a pontra a Tejútról készített fotografiai fölvételek tárgyalásánál még visszatérünk.

*Az állócsillagok mozgása a látóvonal irányában.* FIZEAU utalt először a DOPPLER-féle elv fontosságára az égitesteknek a látóvonalban történő haladó mozgásának felismerésére. A látóvonal a Földtől a csillag felé irányul. FIZEAU 1848-ban tette közzé azt az észrevételét, hogy a látóvonalban történő mozgás okozta hullámhosszváltozás egyszersmind a fénytörés megváltozását vonja maga után, ez pedig a színképben a vonalak eltolódásával jár. FIZEAU figyelmeztet azonban azokra a nehézségekre is, melyek onnan származnak, hogy a fény sebessége messze fölülmúlja az égitesteknek aránylag kicsiny sebességét és hogy emiatt a vonal-eltolódások csak igen csekélyek lehetnek. Egyszersmind azt a reményét fejezte ki, hogy később majd sikerülni fog ezeket az eltolódásokat észrevenni. Hosszú évekig tartott, míg ez a remény beteljesedett, míg a műszereknek és módszereknek folyton növekvő tökéletesítése nemcsak ezen eltolódások igazolásához, de egyszersmind a sebességek leméréséhez vezetett. Természetes, hogy



e téren az első sikert a Nap színeképénél érték el, mert ennek nagy fényessége megengedte a legerősebb szórás használatát.

A DOPPLER-FIZEAU-féle elvnek alkalmazását az állócsillagokra HUGGINS kísérelte meg először (1867). 1871-ben VOGEL tett néhány kísérletet. Az ilyen finom méréseknél előálló óriási nehézségekre mindkét észlelő figyelmeztetett, ők ezért nem is folytatták vizsgálataikat. 1875-től kezdve e vonaleltolódásméréseket a greenwichi obszervatórium állandó programjába vette föl. 1888-ig MAUNDER is igen nagyszámú megfigyelést végzett. SEABROKE is igen sok méréssel gyarapította a vizsgálatokat. A greenwichi megfigyelések mintegy 100 fényesebb csillagra terjeszkednek ki; közülök némelyiket 50-nél többször figyeltek meg. A következő táblázatot a mérés pontosságának megítélése céljából állítottuk össze azokból a csillagokból, melyeknél az eredményt legalább két csillagász mérései igazolnak.

Csillag	GREENWICH	SEABROKE	HUGGINS	Csillag	GREENWICH	SEABROKE	HUGGINS
	km	km	km		km	km	km
$\alpha$ Andromedae	- 47	- 42	—	$\delta$ Urs. maj.	+ 6	- 3	+ 30
$\gamma$ Pegasi	- 39	- 23	—	$\epsilon$ Urs. maj.	0	- 78	+ 30
$\alpha$ Aurigae	+ 35	+ 17	—	$\zeta$ Urs. maj.	+ 35	+ 4	+ 30
$\beta$ Orionis	+ 31	+ 47	+ 24	$\eta$ Urs. maj.	- 2	+ 24	—
$\gamma$ Orionis	- 1	+ 48	—	$\eta$ Bootis	- 54	- 23	—
$\delta$ Orionis	+ 1	+ 87	—	$\alpha$ Bootis	- 73	- 26	- 89
$\epsilon$ Orionis	0	+ 21	—	$\epsilon$ Bootis	- 10	- 20	—
$\zeta$ Orionis	- 7	+ 27	—	$\alpha$ Coronae	+ 24	- 23	—
$\alpha$ Orionis	+ 47	+ 45	+ 35	$\alpha$ Ophiuchi	- 25	- 31	—
$\beta$ Aurigae	- 5	+ 1	—	$\alpha$ Lyrae	- 61	- 74	- 79
$\gamma$ Geminorum	- 31	- 75	—	$\gamma$ Lyrae	- 55	- 54	—
$\alpha$ Gemin.	+ 15	+ 52	+ 42	$\zeta$ Aquilae	- 38	- 90	—
$\alpha$ Canis minoris	+ 13	+ 22	- 12	$\gamma$ Aquilae	- 29	- 15	—
$\beta$ Gemin.	- 52	- 6	- 78	$\delta$ Cygni	- 24	- 44	—
$\alpha$ Leonis	+ 8	+ 47	+ 24	$\alpha$ Aquilae	- 48	- 24	—
$\beta$ Ursae majoris	+ 29	- 8	+ 30	$\gamma$ Cygni	- 23	- 71	—
$\alpha$ Urs. maj.	- 52	+ 13	- 85	$\alpha$ Cygni	- 61	- 61	- 63
$\gamma$ Leonis	- 35	- 11	—	$\epsilon$ Cygni	- 0	- 50	—
$\delta$ Leonis	- 17	- 22	—	$\eta$ Pegasi	- 0	- 88	—
$\theta$ Leonis	+ 15	+ 29	—	$\beta$ Pegasi	- 11	+ 3	—
$\beta$ Leonis	- 15	- 17	—	$\alpha$ Pegasi	- 38	- 48	—
$\gamma$ Urs. maj.	+ 22	- 30	—				

A különböző megfigyelők adatainak egyezése nem valami kielégítő. Különösen bizonytalanoknak látszanak a SEABROKE-féle értékek,

melyek egymással sem egyeznek valami jól. A greenwichi és HUGGINS-féle adatok jobban megegyeznek egymással, legalább az előjelek nagyjából összevágznak. Amint később látni fogjuk, a lemért értékek általában túlságos nagyok. Ez a jelenség könnyen megmagyarázható, hiszen az oly méréseknél, melyek már a megfigyelhetőség határán vannak, a kis különbségeket rendszerint túl szokták becsülni.

Korszakalkotó haladást látunk a látóvonal irányába eső sebességek lemerésében az 1888-iki évtől kezdve, mióta VOGEL először próbálkozott meg azzal, hogy a csillagszínképben levő vonaleltolódásokat fotografiai úton érzékelhetővé tegye és utána a lemezeket pontosan kimérje. VOGEL és SCHEINER adatait a következő táblázatban foglaljuk össze. A haladás az előbbi kísérletekkel szemben határozottan fölismerhető és számokban úgy jut kifejezésre, hogy egy potsdami megfigyelés valószínű hibája körülbelül tízszer kisebb, mint egy greenwichié.

Csillag	VOGEL	SCHNEIDER	Közép	Csillag	VOGEL	SCHNEIDER	Közép
	km	km	km		km	km	km
$\alpha$ Andromedae	+ 2	+ 7	+ 4	$\gamma$ Leonis	- 37	- 41	- 39
$\beta$ Cassiopeiae	+ 1	+ 9	+ 5	$\beta$ Urs. maj.	- 30	- 28	- 29
$\alpha$ Cassiop.	- 15	- 16	- 15	$\alpha$ Urs. maj.	- 10	- 13	- 12
$\gamma$ Cassiop.	+ 4	- 11	- 4	$\delta$ Leonis	- 15	- 14	- 14
$\gamma$ Androm.	+ 9	+ 13	+ 11	$\beta$ Leonis	- 14	- 11	- 12
$\alpha$ Ursae minoris	- 26	- 26	- 26	$\gamma$ Urs. maj.	- 30	- 23	- 27
$\gamma$ Androm.	- 8	- 18	- 13	$\epsilon$ Urs. maj.	- 34	- 26	- 30
$\alpha$ Arietis	- 15	- 15	- 15	$\alpha$ Virginis	-	-	- 15
$\beta$ Persei	-	-	- 2	$\zeta$ Urs. maj.	- 33	- 30	- 31
$\alpha$ Persei	- 11	- 10	- 10	$\eta$ Urs. maj.	- 29	- 24	- 26
$\alpha$ Tauri	+ 48	+ 49	+ 49	$\alpha$ Bootis	- 7	- 8	- 8
$\alpha$ Aurigae	+ 25	+ 24	+ 25	$\epsilon$ Bootis	- 17	- 16	- 16
$\beta$ Orionis	+ 18	+ 15	+ 16	$\beta$ Urs. min.	+ 14	+ 14	+ 14
$\gamma$ Orionis	+ 13	+ 5	+ 9	$\beta$ Librae	- 10	-	- 10
$\beta$ Tauri	+ 9	+ 7	+ 8	$\alpha$ Coronae	+ 32	+ 32	+ 32
$\delta$ Orionis	- 0	+ 2	+ 1	$\alpha$ Serpentis	+ 22	-	+ 22
$\epsilon$ Orionis	+ 28	+ 25	+ 27	$\beta$ Herculis	- 34	- 36	- 35
$\alpha$ Orionis	+ 17	+ 13	+ 15	$\alpha$ Ophiuchi	+ 21	+ 18	+ 19
$\alpha$ Orionis	+ 16	+ 19	+ 17	$\alpha$ Lyrae	- 14	- 16	- 15
$\beta$ Aurigae	- 26	- 30	- 28	$\alpha$ Aquilae	- 40	- 34	- 37
$\gamma$ Geminorum	- 16	- 17	- 17	$\gamma$ Cygni	- 6	- 7	- 6
$\alpha$ Canis majoris	- 14	- 20	- 16	$\alpha$ Cygni	- 6	- 10	- 8
$\alpha$ Gemin.	- 30	- 30	- 30	$\epsilon$ Pegasi	+ 7	+ 9	+ 8
$\alpha$ Canis minoris	- 8	- 10	- 9	$\beta$ Pegasi	+ 7	-	+ 7
$\beta$ Gemin.	+ 2	+ 0	+ 1	$\alpha$ Pegasi	+ 2	+ 1	+ 1
$\alpha$ Leonis	- 9	- 10	- 9				



Miként már említettük, a sebességek dolgában nagy az eltérés a potsdami és a régebbi eredmények között. 48 közösen megfigyelt csillag összehasonlításából látjuk, hogy közepes sebességük a potsdami mérések szerint csak 16 kilométer, míg a greenwichiek 27 kilométert mutatnak. Az előző vizuális megfigyelések tehát túl-nagy értékeket szolgáltattak.

Itt a sebességek kiszámítására vonatkozó lényeges megfontolást kell közbeszúrnunk.

A DOPPLER-féle elv szerint teljesen mellékes, hogy a megfigyelő, vagy a megfigyelt tárgy mozog-e, avagy mind a kettő. Latba csak az a viszonylagos sebesség esik, melylyel a megfigyelő és a tárgy közötti távolság változik. Földünk a térnek korántsem szilárd pontja, hanem a Nap körül az ekliptika síkjában mintegy 30 km közepes sebességgel mozog. Ha valamely csillag az ekliptikában van, akkor az évnek bizonyos szakában Földünk a csillaghoz 30 km sebességgel közeledik, fél esztendővel később vagy előbb ugyanezzel a sebességgel távolodik tőle. A sebességet abban az esetben, ha a Föld és a csillag egymástól távolodik, tehát a távolság növekszik, pozitívnek (+), ha közelednek egymáshoz, negatívnek (—) tekintjük (lásd a táblázatokban levő adatokat). Így az ekliptika síkjában fekvő csillagoknak sebesség-változásai +30 és —30 kilométer között mozognak, tehát a változások sokkal nagyobbak, mint a csillagoknak lemért közepes sebességei. Ha a megfigyelt csillag nem az ekliptika síkjában van, akkor a földsebesség hatása kisebb, még pedig az ekliptikától mért szög cosinusával csökken, úgy hogy oly csillagra, mely az ekliptika pólusában van, a földsebesség már semmi hatással nincs. Minthogy a Föld ellipszisben és nem körben kering a Nap körül, a Föld sebessége is változik. Mindenesetre mindenegyes ilyen csillagsebesség megfigyelésénél a földpálya ismert elemeiből kiszámított javítást kell tennünk, hogy a földmozgás változásait kiküszöböljük és a megfigyeléseket a Napra vonatkoztatjuk, mint az a táblázatok adatainál már megtörtént. Abból a célból, hogy lássuk, mennyire összevágna az ugyanarra a csillagra vonatkozó és egymással nem egyező megfigyelések, mihelyt azokat a Napra vonatkoztatjuk, például fölhozzuk VOGEL-nek és SCHEINER-nek az  $\alpha$  Ursae majoris csillagra vonatkozó megfigyeléseit

Időpont	Megfigyelt sebesség	Redukció	A Napra vonatkoztatott sebesség
1888. nov. 7.	— 31 km	+ 19 km	— 12 km
nov. 9.	— 32 »	+ 19 »	— 13 »
1889. máj. 4.	+ 9 »	— 19 »	— 10 »
máj. 22.	+ 6 »	— 18 »	— 12 »

Az ily módon a Napra vonatkoztatott sebességek még mindig nem a csillagok valódi sebességei, mert a mi Napunk szintén mozgó csillag, a mely eddig még ismeretlen pályát ír le és így pályájának mindenkor érintőjébe eső sebessége van. Az asztronómiának ismert és sokat tárgyalt feladata, hogy ezen érintőmenti mozgás irányát [a naprendszer *apex*-ét], valamint a naprendszer sebességét kiszámítsuk az állócsillagoknak a gömb felülete mentén való saját mozgásaiból. E problémának természetében rejlik, hogy az apex helyét a saját mozgásokból nagyobb biztossággal lehet megállapítani, mint a sebességet, minthogy ez utóbbi csak úgy határozható meg a szögmérésekből, ha a fölhasznált csillagok távolságaira nézve többé-kevésbé bizonytalan föltevésekből indulunk ki.

Egyszerű megfontolás mutatja, hogy a látósugár irányában végzett csillagsebességmeghatározásokat szintén fölhasználhatjuk az apex és a naprendszer sebességének megállapítására. Ez a módszer rendkívül fontos kiegészítése a tiszta asztronómiának, amennyiben az ily módon kapott sebesség közvetlen megfigyeléseken alapszik, tehát független minden oly föltevéstől, mely a megfigyelt csillagok távolságaira vonatkozik.

Erre a célra valóban fel is használták a potsdami látósugármenti sebességértékeket, bár természetes, hogy a fölhasznált csillagok csekély számánál fogva biztos eredmények nem várhatók. KEMPF és RISTEEN egymástól függetlenül tettek ezirányban kísérletet. Az apex helyzetének értékeül jó megegyezésben rektaszencenzióban  $212^{\circ}$ -ot, deklinációban  $+46^{\circ}$ -ot találtak, a naprendszernek a világtérben való transzlátorikus sebessége számára pedig 18 km-t kaptak másodpercenként. E feladatra nemsokára még újra visszatérünk.

A Potsdamban először oly nagy sikerrel alkalmazott módszert, a vonal-eltolódásoknak fotografiai úton való mérését, nemsokára



mások is folytatták jobb segédeszközökkel fölszerelt obszervatóriumokban, így különösen az amerikai csillagászok. Ezáltal a módszer pontosság dolgában lényegesen javult. A Lick-, valamint a Yerkes-obszervatórium kitűnő óriási refraktorai segítségével a méréseket sokkal gyöngébb fényű csillagokra is kiterjeszthették. Jelenleg már több száz csillagnak látósugármenti sebességét oly nagy pontossággal megállapították, a milyen pontosságra 15 évvel ezelőtt még gondolni sem mertek volna. Az egyes meghatározások bizonytalansága nem is haladja meg az 1 km-t. E munkának főrészét a Lick-obszervatórium csillagászai végezték, élükön CAMPBELL-el. Nagyon messze vezetne, ha az eddig megállapított látósugármenti sebességeket itt mind közölni akarnók. Meg kell elégednünk az általános eredmények tárgyalásával.

Már 1901-ben hajthatta végre CAMPBELL a Naprendszer saját mozgására vonatkozó vizsgálatát. Ez 280, a  $-30^{\circ}$  deklináció és az északi pólus közé eső és az első négy rendet felölelő csillagnak megfigyelt sebességein alapszik.

E vizsgálatból a Naprendszer sebességére a következő értéket kapta:  $V = -19.89 \text{ km} \pm 1.52 \text{ km}$ , az apex kordinátái számára pedig:  $AR = 277^{\circ} 30' \pm 4^{\circ} 8'$ ;  $Dekl. = +19^{\circ} 58' \pm 5^{\circ} 9'$ .

A sebesség jól megegyezik a potsdami megfigyelésekből levezetett értékkel. Az apex helyzete rektaszcczenzióban teljesen egybevág a régebbi meghatározásoknak NEWCOMB kiszámította középértékével [ $277^{\circ} 5'$ ], a deklinációban ellenben lényegesen eltér attól [ $+35^{\circ}$ ]. A deklinációban való rossz egyezés részint onnan származik, hogy a CAMPBELL fölhasználta csillagok a deklinációban egyáltalán nincsenek szimmetrikusan eloszolva, a mennyiben a  $-30^{\circ}$ -tól délre esők hiányoznak. Az eltérésnek más része bizonyynyal onnan származik, hogy csak fényesebb csillagokat használt föl, melyek úgy látszik csakugyan kisebb deklinációhoz vezetnek, mint a gyengébb fényű csillagok. STUMPE vizsgálatai alapján a következő deklinációértékeket kapták az apex számára, a felhasznált csillagok fényességei szerint.

Nagyságrend	Az apex deklinációja
1-től 5.5-ig	$+31.1^{\circ}$
5.6-tól 7.5-ig	$+37.5^{\circ}$
7.6 és gyöngébb	$+46.9^{\circ}$

Ezek alapján a CAMPBELL-féle csillagoknál, melyek csak az 5-ik nagyságrendig terjednek, mindenestre  $+30^0$ -nál kisebb értéket várhatunk az apex deklinációja számára.

A feladat megoldásával kapcsolatban kiszámítható a fölhasznált csillagok közepes sebessége a világtérben. Ez 34.1 km-nek adódik, úgy hogy ezen csillagokkal szemben a mi Napunk sebessége eléggé kicsiny. Ha a csillagokat fényességük szerint három csoportra osztjuk, arra az érdekes eredményre jutunk, hogy a közepes sebességek a fényességtől függenek. CAMPBELL a következő értékeket találta.

Nagyságrend	Közepes sebesség
----- 3.0-ig	+ 26.1 km
3.1-től 4.0-ig	+ 32.3 »
4.0-nál gyöngébb	+ 38.9 »

Csillagrendszerünk gyöngébb fényű tagjai tehát észrevehetően gyorsabban mozognak, mint a fényesek. E ténynek különös fontossága van csillagrendszerünk alkatának felderítésénél és ezek a vizsgálatok, valamint naprendszerünk mozgásának meghatározása igen jellemző példa arra, hogy az asztrofizikai vizsgálati módszerek eredményeinek mily jelentős szerep jut a tiszta asztronómia feladataiban. A következő példa is ebbe a kategóriába tartozik.

Az előbb tárgyaltuk, hogy a Földnek napkörüli mozgása által befolyásolt mozgásokat miként kell magára a Napra vonatkoztatni. Itt föltettük, hogy a Föld sebessége ismeretes, a mennyiben nagy pontossággal kiszámítható a földpálya ismert elemeiből és háborgatásaiból, valamint a Földnek a Naptól való távolságából, melyet másfajta megfigyelések alapján kilométerekben lehetett megállapítani. Ez utóbbi adatot csak az úgynevezett napparallaxisból lehet kiszámítani. Így nevezzük azt a szöget, mely alatt a Föld fél-átmérője látszik a Napról tekintve. A napparallaxis a legfontosabb asztronómiai állandók egyike. Lehetőleg pontos meghatározása ma is a csillagászat egyik legfontosabb feladata. Meghatározására számos módszert eszeltek ki és alkalmaztak. Világos, hogy a megfigyelt állócsillag-mozgásoknak a Napra való vonatkoztatásának főntebb tárgyalt problémája meg is fordítható, t. i. a Földnek naptávolát vagyis a napparallaxist ismeretlennek vesszük



s a megfigyelt sebességekből számítjuk ki. Ez a napparallaxisnak asztrofizikai megfigyelési módszereken alapuló meghatározása.

Az első és sikeres kísérletet ebben az irányban KÜSTNER végezte. E célra az Arcturusnak fél esztendei időközre elosztott 18 színekpfölvételét használta fel. A csillag vasvonalaiából igen sokat az izzó vasgőz megfelelő vonalaival behatóan összehasonlított, az eltolódásokat pontosan lemérte és gondos mérlegelés tárgyává tette. Ezekből a Föld közepes sebessége számára  $29\,617 \text{ km} \pm 0\,057 \text{ km}$ -t kapott, a fény sebességét  $299\,865 \text{ km}$ -nek véve. A napparallaxis számára  $8'', 844 \pm 0'', 017$  értéket talált. Az eddigi legjobbnak tartott érték  $8'', 80$  ettől csak kevésbé tér el. E vizsgálatból arra lehet következtetnünk, hogy tetemesebb megfigyelésanyag földolgozásával a napparallaxist a legjobb módszerekkel mindenképpen egyenrangú pontossággal lehet majd meghatározni.

A különböző csillagoknál talált látósugármenti sebességek igen eltérők. Igen kis sebességeknek is elő kell fordulniuk, mert lehet, hogy némely csillag mozgásiránya közel merőleges a látósugárra. Ezeknél a csillagoknál a különböző időpontokban végzett helyzetmeghatározásokból levezetett gömbmenti sajátmozgás lesz viszont a legnagyobb. Az eddig talált legnagyobb sebességek meglehetősen mérsékeltek. Valószínűleg oly csillagoknál nagy a radiális sebesség, melyek számára a mozgás iránya közel összeesik a látósugárral. Eddig még nem figyeltek meg a közepes érték háromszorosát meghaladó sebességeket. A legnagyobb sebességeket a következő csillagoknál találták:

♄ Andromedae	— 84 km	♂ Leporis	+ 95 km	μ Cassiop.	— 98 km
γ Cephei	-- 87 »	θ Canis maj	+ 96 »	Φ <sup>2</sup> Orionis	+ 95 »

Köztük legnagyobb sebessége μ Cassiopejaének van. Saját mozgása évenként  $3\,75''$ -et tesz ki és a legnagyobb sajátmozgások közé számít. A μ Cassiopejae meglehetősen közel van hozzánk. Parallaxisát  $0\,275''$ -nek találták. A sebességnek a látósugárra merőleges összetevője tehát 66 kilométer másodpercenként. Azonban a Nap sebessége is majdnem teljes értékével bennfoglaltatik ebben. Ha ezt levonjuk, 48 kilométer marad. A csillag valódi sebessége a térben ebből mintegy 109 kilométernek bizonyul. A 2 Lacertae kettős csillagnál FROST és ADAMS azt találták, hogy

a fényesebbik összetevő látósugármenti sebessége — 16 kilométer, a gyöngébbfényű összetevőé pedig — 185 kilométer. Az összes eddigi megfigyelések közt ez a legnagyobb sebesség ugyan, de legfőképpen a pályabeli sebességnek, más szóval, az egyik csillagnak a másik körül való keringésének kell tulajdonítani. A Mills Observatory-n (Cerro San Christobal, Santiago mellett) megfigyelték a legfényesebb csillagnak, az  $\alpha$  Centauri mindkét összetevőjének sebességét. A fényesebbik számára — 24·3 km-t, a gyöngébb fényűre — 19·1 km-t kaptak. E kettős csillag pályája már jól megvan határozva, azért az 5·2 km sebességkülönbségből kiszámítható a csillag parallaxisa. Értékéül 0·76''-et találtak, míg GILL és ELKIN által évek során át végzett heliométermegfigyelések alapján levezetett eddigi legjobb érték 0·75''.

A Sirius egyike a legérdekesebb kettős csillagoknak. 1844-ben jelentette ki BESSEL, hogy a Sirius minden bizonnyal kettős csillag, mert ismételten pontosan meghatározott helye időszakos változásokat mutatott. A változásokat legjobban a kettősség föltevésével lehetett megmagyarázni; persze föl kellett tenni azt is, hogy a kísérő égitest sötét. 1862-ben CLARK A. azonban megtalálta a föltevés kísérőt mint kilenczedrendű csillagot. A kísérő tehát nem is olyan gyöngye, csak a fényes Sirius túlságos közellété miatt lehet nehezen meglátni. Számos megfigyelés alapján a Sirius pálya-elemeit igen pontosan ismerjük. ZWIERS legújabb meghatározásai alapján a bennünket itt érdeklő elemek a következők:

Periodus	48·84 év
Nagy tengely	7·59''
Excentricitás	0·59
Hajlás	$\pm 46^\circ$
Évi mozgás	7·37''

A parallaxist 0·37''-nek találták; a Sirius és kísérőjének tömege 2·2:1 arányban áll egymással.

Ezen elemekből ki lehet számítani a Siriusnak látósugármenti sebességét. Nagyon érdekes e számított sebességeket a megfigyeltekkel összehasonlítani. Az utóbbiakból az egész rendszer sebessége — 7·4 km-re adódott. Kihagyva az addig még nem eléggé pontos potsdami és párisi megfigyeléseket, CAMPBELL a következő összehasonlításhoz jutott:



Időpont	Megfigyelt sebesség	Számított sebesség	Obszervatórium
1897·0	— 3·2	— 3·1	Lick
1898·1	— 5·9	— 3·9	»
1898·7	— 3·6	— 4·4	»
1899·9	— 4·8	— 5·0	»
1901·9	— 4·8	— 5·9	»
1902·1	— 6·9	— 5·9	Yerkes
1903·1	— 6·9	— 6·3	Lick
1905·0	— 5·4	— 6·8	»
1905·1	— 7·4	— 6·9	»

A nagyon kielégítő megegyezés a spektrofotikus megfigyelések jószágáról tanúskodik.

Az 1830 Groombridge csillag saját mozgásának nagysága szerint, mely 7·05" évenként, az eddig ismertek sorában a második helyen áll. E csillag parallaxismeghatározásai mind igen kis értéket szolgáltatottak; NEWCOMB összeállítása szerint 0·14". A fönti saját mozgásnak ezért 240 km másodpercenkénti sebesség felelne meg. A csillag gyöngye fényű ugyan, fényessége 7·5, mégis a Lick-obszervatóriumban sikerült róla színeképfotografiákat készíteni, melyekből a látósugármenti sebesség — 95 km-nek adódik. Következésképpen a csillag mozgásiránya közel merőleges a látósugárra.

*A spektroszkópi kettős csillagok.* A vonal-eltolódások spektrofotografiai mérése mindjárt kezdetben figyelemreméltó fölfedezésekhez vezetett, melyekre más úton talán soha sem lehetett volna rájönni. A fölfedezések meglepő föllendülésre vezettek és az állócsillagok természetéről alkotott nézeteinket is helyesbítették. A fölfedezés az, hogy némely csillagnál a vonaleltolódások nagysága, sőt iránya időszakosan változik. Ebből időszakosan változó sebességre lehet következtetni, ez meg csakis keringő mozgással magyarázható. A szóbanforgó csillagok így kettős csillagoknak bizonyulnak. Látszólagos kölcsönös távolságuk azonban oly kicsiny, hogy szétválasztásuk a legnagyobb távcsövekkel sem lehetséges. E csillagokat azért spektroszkópi kettős csillagoknak nevezzük. A két első ilyen fölfedezés egyidejűleg ugyan, de egymástól függetlenül, a potsdami csillagvizsgálóban és a Harvard College Observatory-n történt. Potsdamban 1889-ben VOGEL és SCHEINER azt vették észre, hogy az Algol változó csillagon a fényesség változásaival közvetlenül összefüggő időszakos sebességváltozá-

sok észlelhetők. A Harvard-csillagvizsgálón PICKERING a  $\xi$  Ursae Maj. csillagnál talált időszakos sebességváltozásokat. Nemsokára néhány további fölfedezés következett a spektroszkópi kettős csillagok terén. Így pl. VOGEL az  $\alpha$  Virginis-szel, PICKERING a  $\beta$  Aurigae-val gyarapította számukat, később pedig a módszerek tökéletesezésével már kisebb sebességváltozásokat mutató csillagokat is találtak. A spektroszkópi kettős csillagok első katalógusát 1905. január 1-én fejezték be. Ez már 140 ilyen csillagot sorol föl.

Az említett fölfedezéseket nagy érdeklődés kísérte s ezért kíváncsok, hogy néhány jobban megfigyelt ily csillaggal részletesebben megismerkedjünk.

*Algol.* Az Algol fényességváltozásai rendkívül szabályosak a legtöbb más változó csillaghoz hasonlítva. A változás periodusa közelítőleg 2 nap 20 óra 49 percz és ettől csak igen csekély és fokozatos lefolyású eltérések mutatkoznak. A tulajdonképpeni fényváltozás csak 9 óra 45 perczig tart. Ez alatt a fényesség a 2·3 nagyságrendtől 3·5-ig csökken és azután ismét emelkedik a teljes fényességig. A jelenség nagyfokú szabályszerűsége miatt már régóta sejtették, hogy a fényesség csökkenése igen közeli sötét kísérő fődésétől származik, mely 2 nap 20 óra 49 percz alatt kering a főcsillag körül. A fényességváltozás elemeiből ki is számították a föltevéses kísérő pályáját. Azonban oly csekély távolságot találtak a két csillag számára, hogy ily rendszer stabilitása már nem látszott lehetségesnek. A potsdami rendszeres fotografiai fölvételek a kísérő quadraturáinak idejekor, mikor a látósugármenti sebesség változásaiban maximumnak, vagy minimumnak kell mutatkoznia, oly fényesen igazolták a föltevést, hogy az Algol kettőssége ellen már nem táplálhatunk semmi kétséget. Az első megfigyelt sebességek a következők voltak:

I d ő	A legközelebbi minimum- tól való távolság	Sebesség
	óra	
1888. december 4. ....	11·4    utána	— 46 km
1889. januárius 6. ....	22·4    előtte	+ 29    »
1889.        » 19. ....	19·4        »	+ 32    »
1889. november 3. ....	13·3    utána	— 40    »
1889.        » 23. ....	22·3    előtte	+ 42    »
1889.        » 26. ....	19·6        »	+ 45    »



Ha körpályát teszünk föl és még azt, hogy a két test sűrűsége egyenlő, akkor a SCHEINER-től SCHÖNFELD megfigyeléseiből levezetett fényességváltozási elemek fölhasználásával végzett pályameghatározás a következő eredményhez vezet:

A főcsillag átmérője	... ..	=	1 700 000 km
A kísérő	» ... ..	=	1 330 000 »
Középpontjaik távolsága	... ..	=	5 180 000 »
Algol pályabeli sebessége	... ..	=	42 »
A kísérő pályabeli sebessége	... ..	=	89 »

Az egész rendszer haladó mozgása =  $-4$ .

A két test tömege ... .. =  $\frac{4}{9}$ , ill.  $\frac{2}{9}$ -e a Nap tömegének.

Az ilyen szoros rendszer lehetősége ellen tett régebbi ellenvetéseket különben WILSING elméleti vizsgálatai teljesen megcáfolták. WILSING kimutatta, hogy a kölcsönös vonzás következtében előálló alaki változások (árapályjelenségek) sokkal kisebbek, sem hogy a rendszer állandóságát veszélyeztetnék.

Az Algol kettős voltának fölfedezése rögtön arra a következtetésre vezet, hogy valamennyi Algol-típusú változó csillagnál a fényességváltozás keringő kísérőkkel magyarázható. Hogy ilyen szoros rendszernél a fényességváltozások észrevehetővé váljanak, még két föltételnek kell teljesülnie: először az egyik testnek jóval sötétebbnek kell lennie a másikkal, másodszor pedig a pálya síkjának közel a látóvonalba kell esnie. A valószínűség szerint szükségképpen vannak oly Algol-szerű rendszerek is, melyeknél ezek a föltételek nincsenek kielégítve. Ilyeneknél csupán a színképben várhatunk időszakosan váltakozó vonaleltolódásokat. Ez a föltevés, mint már említettük, meglepően nagyszámú esetben beigazolódott. Hagyjuk el az első feltételt, hogy tudniillik az egyik test fényes, a másik meg sötét. Akkor a kettő közel egyforma fényességű s így két egymásra vetített színkép keletkezik. A két színkép közös vonalai össze fognak esni, mikor a két égitest sebessége a látósugárra merőleges, tehát a konjunkciónál és oppozíciónál s ekkor a színkép nem különbözik valamely egyszerű csillagétól. A quadraturáknál azonban a mozgások ellentett irányúak. A két színkép közös vonalai tehát kis pályasebesség mellett kiszélesednek, nagy sebesség mellett pedig kettéválnak. Itt minden vonal fölé a másik csillag folytonos színképe is helyez-

kedik, és így az elválasztott vonalak nem lehetnek sötétek, hanem csak halványak. De teljes egybeesésnél igen sötétnek látszhatnak. Erre igen jó példa a PICKERING-től felfedezett

$\beta$  *Aurigae*. Ezt a csillagot az égnek PICKERING-féle spektroszkópiai átkutatása alkalmával MAURY kisasszony 1889-ben kettős csillagnak ismerte fel, mivel a  $K$  vonal a különböző lemezekben majd egyszerűnek, majd kettősnek mutatkozott. A két vonal legnagyobb távolságából kiszámított legnagyobb sebesség a látósugár mentén 240 km. A periodust 3 nap 23 óra 37 percznek, a két test tömegét pedig a Nap-tömeg 4·6-szeresének találták. Később néhány csillagász e fényes csillagról számos színkép-fölvételt készített. A  $\beta$  *Aurigae* színképét VOGEL vizsgálta behatóan. Szerinte a két test tömege közel egyforma nagy s csak kevésbé excentrikus pályában mozognak 222 km viszonylagos sebességgel. A keringésidő 3 nap 23 óra 2 percz, az egész rendszer haladó mozgásának sebessége pedig — 21 km. A két égitest tömege 4·5-szer akkora, mint a Nap tömege; középpontjaiknak egymástól való távolsága 12,000.000 km.

Általános megjegyzést kell itt közbeszúrnunk. A kettős csillagok tömegeinek kiszámítása egyszerűen a KEPLER-féle harmadik törvény szerint történik, mely azt mondja, hogy a keringésidők négyzetei úgy aránylanak, mint a középtávolságok köbei. Föl kell tenni ehhez, hogy *ugyanazon* rendszer (pl. a Naprendszer) különböző testeit hasonlítjuk össze egymással. Ha azonban a számítás különböző rendszerekre vonatkozik, mint ebben az esetben is, akkor az egyik rendszer tömege kifejezve a másik rendszer egységül vett tömegével, a KEPLER-féle törvényben mint a keringésidő négyzetének szorzója szerepel. Más szóval, ha  $a$ -val jelöljük a másik rendszer nagy tengelyét földpályasugarakban és  $U$ -val a keringésidőjét, akkor  $a = M^{1/3} U^{2/3}$ . Ebből kiszámítható a másik rendszer tömege.

Már most  $a$ -t a lemért sebességből számítjuk ki. Mélni pedig csak a látósugármenti sebességet tudjuk, úgyhogy általában a valódi sebesség nagyobb, mint a lemért és pedig annál nagyobb, mennél erősebben hajlik a rendszer pályásíkja a látósugárhoz. A kiszámított tömegek tehát mindig túlkicsinyek és soha sem jelentenek felső határt. Ha a rendszer hajlásszöge a látósugárra más úton ismeretes, akkor a valódi tömeget a számítottból úgy kapjuk, hogy az utóbbit elosztjuk  $\sin^3 i$ -vel, ahol  $i$  a hajlásszög.



$\zeta$  *Ursae Majoris*-t éppen úgy, mint a  $\beta$  *Aurigae*-t, PICKERING ismerte fel kettős csillagnak. Fölfedezése már azért is nagy feltűnést keltett, mert a két összetevő 160 km-nyi viszonylagos sebességéből és a legelőször 104 napnak vett keringésidőből a rendszer tömegéül a Nap tömegének 40-szerese adódott. Már a PICKERING-féle fölvételek is kissé szabálytalan viselkedést mutattak a vonalak kettőződésében, úgy, hogy vagy a keringésidőt kellett megkét-szerezni (208 nap), a mi még sokkal nagyobb tömegre vezetett, vagy a pályát kellett igen excentrikusnak tekinteni. A potsdami obszervatóriumban készített későbbi színekpfölvételek a  $\zeta$  *Ursae Majoris* csillagról lényegesen más eredményekre vezettek, nevezetesen a tömegre nem szolgáltatott oly rendkívüli értéket. VOGEL és EBERHARD szerint a periodus 20,6 nap tartamú, a két összetevő viszonylagos sebességének maximuma 128 km és 156 km. Ennélfogva az excen-tricitás 0,5-nek, a két csillag középpontjainak egymástól való távolsága 35 000 000 km-nek adódik, a tömeg pedig a Nap tömegének négyszerese.

Az  $\alpha$  *Aurigae* a II. a. típus ama csillagai közé tartozik, melyeknek színekpe szinte vonalanként megegyezik a Napéval. Azonban már az első potsdami színekpfölvételeknél észrevették, hogy egyik-másik színekp nem mutat elegendő élességet, anélkül, hogy e jelenség okát e megfigyelések külső körülményeire vissza tudták volna vezetni. CAMPBELL és vele egyidejűleg NEWALL felismerték, hogy a vonalak élessé, majd homályossá változása időszakosan történik, vagyis, hogy az  $\alpha$  *Aurigae* is spektroszkópi kettős csillag. A vonalak kiszélesedése, középhelyzetükhöz képest, szimmetrikusan történik. Kell tehát, hogy a két test közel egyforma tömegű legyen és közel egyforma sebességgel mozogjon. A keringésidőt 104 napos-nak találták. A két égitest legnagyobb sebessége 30 km, egymástól való távolsága 11 500 000 km, tömegük pedig a Nap tömegének 2,3-szerese.

A *Polaris* ( $\alpha$  *Ursae Minoris*) CAMPBELL megfigyelései szerint legalább is hármrendszernek tekinthető. Látósugármenti sebes-sége mintegy 4 napos rövid periodusú, és igen csekély változást mutat. De a sebesség idővel lassan változik, nagyobb távolságban levő harmadik test vonzásának megfelelően. HARTMANN mérései szerint a rövid periodus 3,97 nap, tehát véletlenül éppen akkora, mint  $\beta$  *Aurigae*-nél. A hosszabb periodust még eddig nem lehetett

meghatározni, de legalább 15 esztendeig tart. A sebesség változásait a mellékelt középértékekből láthatjuk:

Év	Sebesség	Megfigyelő
1888	—25·4	VOGEL és SCHEINER
1896	—18·0	CAMPBELL
1899	—11·8	»
1900	—12·1	HARTMANN
1901	—13·3	»

A sebesség kezdeti csökkenése tehát úgy látszik 1899. és 1900. között ismét növekedésbe megy át.

Az  $\eta$  Orionis a nagy pályasebessége miatt igen érdekes rendszer. A csillag optikailag kettős, de fényesebbik összetevője szintén spektroszkópi kettőscsillag 7·99 nap keringésidővel. A pálya excen- triczitása igen kicsiny. A két test távolsága 16 000 000 km. A közös súlypont körül 147, illetve 143 km másodpercenkénti sebességgel keringenek. A rendszer haladó sebessége +36 km.

Az  $\alpha$  Geminorum spektroszkópi kettős csillagot BELOPOLSKY vizsgálta igen behatóan. A keringésidő 2·9 nap. A pálya csak kevésbé excentrikus, úgy, hogy a periasztron helyzetét nem lehet elég pontosan megállapítani. Az eddig rendelkezésünkre álló megfigyelések — úgy látszik — arra mutatnak, hogy a periasztron helyzete nem állandó, hanem hasonló módon vándorol, mint az a bolygó pályáknál más bolygók háborgatásai következtében történik. Tehát itt is harmadik zavaró égi test jelenlétét kell föltennünk. A kérdést azonban még nem tekinthetjük eldöntöttnek.

A következő táblázat az eddig fölismeret spektroszkópi kettős csillagokat sorolja fel CAMPBELL nyomán. Az első oszlopban a sorszámot és a csillagok nevét találjuk, a másodikban a fényességet, a harmadikban pedig a színképtípust. A negyedik oszlop a keringésidőket tartalmazza napokban kifejezve, ha más megjegyzés nincs. Az ötödikben a pályák nagy tengelye van megadva kilométerekben, a legutolsóban pedig a fölfedező és a csillagászati obszervatórium, melyben a megfigyelések történtek:



Csillag	Nagy-s.-r.	Színkép	Periodus	Nagy tengely	Fölfedező, obszervatórium, megjegyzések
1. $\alpha$ Androm.	2:3	I. $a_2$	100	—	SLIPHER, Lowell obsz.
2. $\alpha$ Phoenic.	2:4	II. $a.$	hosszú	—	WRIGHT, Lick obsz.
3. $\pi$ Androm.	4:5	I. $b.$	rövid	—	FROST és ADAMS, Yerkes obsz.
4. $\xi$ Cassiop.	4:9	I. $a.$	rövid	—	» » » » »
5. $\nu$ Androm.	4:4	I. $b.$	rövid	—	CURTIS, Lick obsz.
6. $\eta$ Androm.	4:6	II. $a.$	—	—	CAMPBELL, Lick obsz.
7. $\alpha$ Urs. min.	2:1	II. $a.$	3:97	160 400	CAMPBELL, Lick obsz. hármas rendszer
8. $\gamma$ Phoenic.	3:5	—	190	—	PALMER, Lick obsz.
9. $\phi$ Persei	4:2	I. $a.$	—	—	Campbell, Lick obsz.
10. $\zeta$ Ceti	4:0	II. $a.$	több év	—	» » »
11. $\xi$ Pisc.	4:9	II. $a.$	hosszú	—	» » »
12. $\beta$ Arietis	2:7	I. $a.$	—	—	VOGEL, Potsdam
13. $g$ Persei	5:0	I. $a.$	—	—	FROST és ADAMS, Yerkes obsz.
14. $\xi_1$ Ceti	4:6	II. $a.$	—	—	CAMPBELL, Lick obsz.
15. $\delta$ Ceti	3:9	I. $b.$	rövid	—	FROST és ADAMS, Yerkes obsz.
16. 12 Persei	5:0	I. $a.$	rövid	—	CAMPBELL, Lick obsz.
17. $\tau$ Persei	4:1	I. $a.$	hosszú	—	» » »
18. $\beta$ Persei	2:1	I. $b.$	2:87	518 000	VOGEL és SCHEINER, Potsdam
19. $\sigma$ Persei	3:9	I. $b.$	4:39	6 640 000	ADAMS, Yerkes obsz.
20. 20 Tauri	4:1	I. $a.$	—	—	» » »
21. $\epsilon$ Persei	2:9	I. $a.$	—	—	FROST és ADAMS, Yerkes obsz.
22. $\lambda$ Tauri	3:3	I. $b.$	3:91	—	BELOPOLSKY, Pulkowa
23. $\chi$ Eridani	3:6	—	rövid	—	WRIGHT, Lick obsz.
24. $\nu$ Eridani	4:0	I. $b.$	rövid	—	FROST és ADAMS, Yerkes obsz.
25. $\tau$ Tauri	4:3	I. $b.$	—	—	» » » » »
26. 9 Camelop.	4:4	I. $a.$	—	—	» » » » »
27. $\pi^4$ Orionis	3:7	I. $b.$	—	—	CURTIS, Lick obsz.
28. $\pi^5$ Orionis	3:9	I. $b.$	rövid	—	FROST és ADAMS, Yerkes obsz.
29. $\epsilon$ Aurigae	vált.	II. $a.$	több év	—	VOGEL, Potsdam
30. $\alpha$ Aurigae	0:2	II. $a.$	104:02	36 848 000	CAMPBELL, Lick obsz.
31. $\sigma$ Orionis	4:6	I. $b.$	—	—	FROST és ADAMS, Yerkes obsz.
32. $\eta$ Orionis	3:4	I. $b.$	7:99	15 901 000	» » » » »
33. $\phi$ Orionis	4:6	I. $b.$	rövid	—	» » » » »
34. $\chi$ Aurigae	4:7	I. $a.$	—	—	» » » » »
35. $\delta$ Orionis	2:6	I. $b.$	5:73	7 907 000	DESLANDRES, Meudon
36. $\theta^1$ Orionis	4:9	I. $b.$	—	—	FROST és ADAMS, Yerkes obsz.
37. $\theta^2$ Orionis	5:3	I. $b.$	—	—	» » » » »
38. $\iota$ Orionis	2:8	I. $b.$	—	—	» » » » »
39. $\zeta$ Tauri	3:0	I. $b.$	hosszú	—	» » » » »
40. $\beta$ Doradus	3:9	I. $a.$	—	—	WRIGHT, Lick obsz.
41. $\sigma$ Orionis	3:7	I. $b.$	rövid	—	FROST és ADAMS, Yerkes obsz.
42. $\beta$ Aurigae	2:1	I. $a.$	3:96	—	MAURY, Harvard Coll. obsz.
43. $\nu$ Orionis	4:2	I. $b.$	—	—	FROST és ADAMS
44. $\xi$ Orionis	4:4	I. $b.$	—	—	» » »
45. $\eta$ Gemin.	3:2	III. $a.$	hosszú	—	REESE, Lick obsz.
46. $\delta$ Columbae	4:0	—*	hosszú	—	PALMER, Lick obsz.

Csillag	Nagys.-r.	Színkép	Periodus	Nagy tengely	Fölfedező, obszervatórium, megjegyzések
47. $\gamma$ Gemin.	4.9	I. a.	hosszú	—	BURNS, Lick obsz.
48. s Monoc.	1.9	I. b.	—	—	FROST és ADAMS, Yerkes obsz.
49. $\alpha$ Can. maj.	1.7	I. a.	49 év	—	—
50. $\zeta$ Gemin.	3.8	II. a.	10.15	1 798 000	BELOPOLSKY, Pulkowa
51. $\gamma$ Can. min.	4.6	II. a.	hosszú	—	REESE, Lick obsz.
52. $\sigma$ Puppis	3.3	—	—	—	PALMER, Lick obsz.
53. $\alpha_1$ Gemin.	3.7	I. a.	2.93	—	BELOPOLSKY, Pulkowa
54. $\alpha_2$ Gemin.	2.7	I. a.	9.22	—	CURTIS, Lick obsz.
55. $\alpha$ Gemin.	—	—	347 év	—	—
56. $\sigma$ Gemln.	4.4	II. a.	rövid	—	REESE, Lick obsz.
57. a Puppis	3.9	—	—	—	WRIGHT, Lick obsz.
58. V Puppis	4.1	—	1.45	—	PICKERING
59. $\iota$ Argus	2.9	I. a.	hosszú	—	CAMPBELL, Lick obsz.
60. $\eta$ Hydrae	4.4	I. b.	rövid	—	FROST és ADAMS, Yerkes obsz.
61. $\varepsilon$ Hydrae	3.5	II. a.	15.7 év	—	—
62. w Velorum	4.5	—	—	—	WRIGHT, Lick obsz.
63. $\alpha$ Volantis	4.2	—	—	—	» » »
64. x Cancri	5.0	I. b.	—	—	FROST és ADAMS, Yerkes obsz.
65. o Leonis	3.7	I. a-II. a.	14.5	—	CAMPBELL, Lick obsz.
66. l Carinae	3.6	I. a.	402.62 év	—	—
67. $\gamma$ Leonis	2.4	II. a.	402.6 év	—	—
68. p Velorum	4.1	—	—	—	WRIGHT, Lick obsz.
69. w Urs. maj.	4.8	I. a.	—	—	VOGEL, Potsdam
70. $\xi$ Urs. maj.	3.9	I. a.	—	—	WRIGHT, Lick obsz.
71. 93 Leonis	4.5	I. a-II. a.	—	—	CAMPBELL és WRIGHT, Lick obsz.
72. $\gamma$ Corvi	2.7	I. a.	rövid	—	CAMPBELL és CURTIS, Lick obsz.
73. $\eta$ Virginis	4.0	I. a.	rövid	—	FROST és ADAMS, Yerkes obsz.
74. $\gamma$ Virginis	2.9	I. a.	180 év	—	—
75. $\varepsilon$ Urs. maj.	1.4	I. a.	hosszú	—	ADAMS, Yerkes obsz.
76. $\zeta$ Urs. maj.	2.1	I. a.	20.54	—	PICKERING, Harvard Coll. obsz.
77. $\alpha$ Virginis	1.2	I. b.	4.0	—	VOGEL, Potsdam
78. $\zeta$ Centauri	2.8	—	8.02	—	FLEMING, Harvard Coll. obsz.
79. $\eta$ Bootis	2.8	II. a.	hosszú	—	MOORE, Lick obsz.
80. $\alpha$ Draconis	3.6	I. a.	—	—	CAMPBELL és CURTIS, Lick obsz.
81. d Bootis	4.8	I. a-II. a.	rövid	—	WRIGHT, Lick obsz.
82. $\alpha$ Centauri	1.0	I. a.	81.19	—	—
83. $\alpha$ Librae	2.7	I. a.	rövid	—	SLIPHER, Lowell obsz.
84. $\beta$ Lupi	2.8	—	—	—	FLEMING, Harvard Coll. obsz.
85. $\delta$ Librae	5.0	I. a.	2.33	—	ADAMS, Yerkes obsz.
86. $\varepsilon$ Librae	5.0	I. a.	90	—	CAMPBELL, Lick obsz.
87. $\alpha$ Coron. bor.	2.2	I. a.	—	—	HARTMANN, Potsdam
88. $\pi$ Scorpii	3.0	III. b.	1.57	—	CAMSON
89. $\beta$ Scorpii	2.7	III. b.	6.88	—	SLIPHER, Lowell obsz.
90. $\theta$ Draconis	4.1	II. a.	3.07	—	CAMPBELL, Lick obsz.
91. $\sigma$ Scorpii	3.0	II. a.	rövid	—	SLIPHER, Lowell obsz.
92. $\beta$ Hercul.	2.9	II. a.	410.58	63 560 060	CAMPBELL, Lick obsz.
93. $\zeta$ Hercul.	2.9	II. a-II. a.	33.9 év	—	—



Csillag	Nagy-s- r.	Színkép	Periodus	Nagy tengely	Fölfedező, obszervatórium, megjegyzések
94. $\mu^1$ Scorpii	3:1	—	1'45	—	BAILEY, Harvard Coll. obsz.
95. $h$ Draconis	4:9	I. a.	—	—	CAMPBELL, Lick obsz.
96. $\varepsilon$ Urs. min.	4:4	II. a.	rövid	—	» » »
97. $\varepsilon$ Hercul.	3:8	I. a.	rövid	—	CAMPBELL és CURTIS, Lick obsz.
98. $\eta$ Hercul.	4:6	I. a.	rövid	—	FROST és ADAMS, Yerkes obsz.
99. $\lambda$ Scorpii	1:4	—	5'6	—	SLIPHER, Lowell obsz.
100. $\xi$ Serpentis	3:6	I. a.	rövid	—	CURTIS, Lick obsz.
101. $\omega$ Dracon.	4:9	I. a-II. a.	rövid	—	CAMPBELL, Lick obsz.
102. $X$ Sagitt.	4:4	II. a.	7'01	—	SLIPHER, Lowell obsz.
103. $W$ Sagitt.	4:3	I. a.	7'59	1 930 000	CURTIS, Lick obsz.
104. $\mu$ Sagitt.	4:0	I. a.	—	—	FROST és ADAMS, Yerkes obsz.
105. $\gamma$ Sagitt.	5:4	I. a.	5'77	—	CURTIS, Lick obsz.
106. $\chi$ Dracon.	3:7	II. a.	281'8	62 020 000	CAMPBELL, Lick obsz.
107. 2 Scuti	4:6	I. a.	—	—	WRIGHT, Lick obsz.
108. $\zeta$ Lyrae	4:2	I. a.	—	—	CURTIS, Lick obsz.
109. $\beta$ Scuti	4:5	II. a.	hosszú	—	WRIGHT Lick obsz.
110. $\beta$ Lyrae	3:4	I. b.	12'91	32 000 000	PICKERING, Harvard Coll. obsz.
111. $\alpha$ Pavonis	3:8	—	9'9	—	WRIGHT, Lick obsz.
112. $\delta^1$ Lyrae	5:6	I. a.	—	—	FROST és ADAMS, Yerkes obsz.
113. 113 Hercul.	4:6	I. a.	—	—	WRIGHT, Lick obsz.
114. $\tau$ Sagitt.	3:5	II. a.	—	—	» » »
115. 18 Aquilae	5:1	I. b.	—	—	FROST és ADAMS, Yerkes obsz.
116. $v$ Sagitt.	4:4	I. a.	—	—	CAMPBELL, Lick obsz.
117. $\delta$ Aquilae	3:4	I. a.	7'18	—	CAMPBELL és CURTIS, Lick obsz.
118. $\eta$ Aquilae	3:7	I. a.	7'18	1 545 000	BELOPOLSKY, Pulkowa
119. $S$ Sagittae	5:5	I. a.	8'38	—	CURTIS, Lick obsz.
120. $\theta$ Aquilae	3:4	I. a.	17	—	DESLANDRES, Mendon
121. $\alpha^1$ Cygni	4:0	I. a.	—	—	CAMPBELL, Lick obsz.
122. $\beta$ Capric.	3:2	I. a.	3'3 év	—	» » »
123. 71 Aquilae	4:6	II. a.	hosszú	—	CURTIS, Lick obsz.
124. $\tau$ Vulp.	5:5	II. a.	4'44	—	FROST, Yerkes obsz.
125. 57 Cygni	4:6	I. b.	rövid	—	FROST és ADAMS, Yerkes obsz.
126. 61 Cygni	5:3	II. a.	igen hosszú	—	ADAMS, Yerkes obsz.
127. $\delta$ Equul.	4:6	II. a.	5'7 év	—	CAMPBELL, Lick obsz.
128. $\alpha$ Equul.	4:2	I. a-II. a.	hosszú	—	WRIGHT, Lick obsz.
129. $\beta$ Cephei	3:4	I. b.	néhány nap	—	FROST és ADAMS, Yerkes obsz.
130. $\varepsilon$ Capric.	4:7	I. a.	rövid	—	SLIPHER, Lowell obsz.
131. $\alpha$ Pegasi	4:3	I. a.	6	—	CAMPBELL, Lick obsz.
132. $\iota$ Pegasi	4:0	II. a.	10'21	6 740 000	» » »
133. 2 Lacert.	4:7	I. b.	—	—	FROST és ADAMS, Yerkes obsz.
134. $\delta$ Cephei	3:7	II. a.	5'37	1 300 000	BELOPOLSKY, Pulkowa
135. 6 Lacert.	4:6	I. b.	—	—	FROST és ADAMS, Yerkes obsz.
136. $\eta$ Pegasi	3:0	I. a.	818'0	157 800 000	CAMPBELL, Lick obsz.
137. $\alpha$ Androm.	3:5	I. b.	—	—	WRIGHT, Lick obsz.
138. $\pi$ Cephei	4:6	II. a.	—	—	CAMPBELL, Lick obsz.
139. 1 Hev. Cass.	4:8	I. b.	—	—	FROST és ADAMS, Yerkes obsz.
140. $\lambda$ Androm.	3:9	II. a.	20'5	—	CAMPBELL, Lick obsz.

Bár az itt felsorolt kettős csillagok legtöbbször a pálya még teljesen ismeretlen, mégis váratlanul nagy számú spektroszkópi kettős csillag fölfedezésével az asztronómiának egészen új fejezete keletkezett. Bővülő látókörünk az állócsillagokról alkotott nézeteinket az eddigiektől eltérően egészen más világításba helyezi. CAMPBELL nézete a következő:

Viszonylagosan igen nagy ama spektroszkópi kettős csillagrendszerek száma, melyeket a legnagyobb távcsővel sem lehet szétválasztani. A LICK-obszervatóriumban megvizsgált csillagoknak  $\frac{1}{7}$ -része rövid periodusú spektroszkópi kettős csillag. Az I. b. típus csillagainál ez az arány  $\frac{1}{3}$ -ra emelkedik.

Csak oly rendszereket fedeztek föl, melyeknek periodusa aránylag kicsiny és így a sebesség változása jelentékeny. Az eddig ismert legkisebb sebességváltozás (a Polarisnál) 6 km. Ha a változás csak mintegy 1 km lett volna, aligha lehetett volna észrevenni. A mai műszerekkel és módszerekkel lemérhető ugyan ilyen csekély sebességváltozás, de azért még nem szabad reálisnak tekinteni. Nagyon valószínű, hogy a sebesség sokkal több kettős csillagrendszernél van 6 km-en alul, mint a mennyinél fölötté, de ezeket mind még előbb föl kellene fedezni. A mi Napunk mozgása a térben a bolygók vonzása következtében csekély, alig 0.03 km-nyi változásoknak van alávetve. De valamely más rendszeren tartózkodó megfigyelő abszolút tökéletes műszerek segítségével észrevehetné e változásokat és ebből következtethetne arra, hogy a mi Napunk bolygókkal van körülvéve. Mennél jobban növekszik a csillagászati mérések pontossága, annál nagyobb mértékben növekszik a fölfedezések száma s így idővel ki fog derülni, hogy csak ritka kivétel az oly csillag, melynek nincs sötét kísérője. Sőt az is lehet, hogy oly csillagok, melyeknek igen nagy kísérői vannak — tehát a szó régebbi értelmében kettős csillagok —, sokkal nagyobb számmal vannak, mint az egyszerű csillagok, a milyen pl. a mi Napunk.

Az előbbi következtetések valószínűségét az utóbbi években az optikai kettős csillagokon szerzett tapasztalatok csak növelték. A LICK-obszervatórium kitűnő refraktorával még egymástól csak 0.1'' távolságra levő kettős csillagokat is föl lehet ismerni. Folytonosan érkeznek jelentések onnan nagyszámú ilyen szoros csillagpárok fölfedezéséről. Megállapították már, hogy a 0.1'' — 5'' távolság-



közben a kettős csillagok számának viszonya az összes csillagokhoz 1:18 és hogy ez a viszony a kisebbedő távolsággal erősen növekszik. Ha meggondoljuk, hogy a spektroszkópi kettős csillagok távolsága átlag  $0''01$  alatt van, akkor érthető a kettős csillagok nagy száma e távolságig s megvan a kapcsolat a spektroszkópi fölvételek eredményeiből alkotott nézetekhez. Az előbbi eredmények a vonaleltolódások mérésénél elért rendkívül nagy pontosságról tanúskodnak. Tekintve, hogy az eltolódások igen kicsinyek, a pontosság szinte bámulatosnak mondható. Mindez csak a spektrográfok tökéletesítésével vált lehetségessé, melyek jelenleg már igazán rendkívül éles csillagszínképeket szolgáltatnak.

Arról, hogy e téren mit lehet elérni, a 191. és 192. rajz tanúskodik. A  $\mu$  Orionis csillagnak két különböző időpontban fölvett színképeit ábrázolják, a vasnak összehasonlíthatóan szolgáló színképével. A fölvételeket a VERKES-obszervatóriumban készítették. Az egyik színképnél a csillag sebessége  $+38$  km, a másikinál  $+72$  km. A csillag vonalainak eltolódását a vas vonalaihoz képest mindkét színképen mérés nélkül is tisztán láthatjuk.

191. rajz.

192. rajz.

## HUSZONÖTÖDIK FEJEZET.

## Az új csillagok.

Az új csillagok iránt már a legrégebbi időtől kezdve a csillagászok és a közönség igen élénken érdeklődtek. Hirtelen megjelenésük, gyakran nagy fényességük mint különös jelenségekre rájuk fordította a figyelmet, mielőtt még asztrofizikai vizsgálatokról szó lehetett. A csillagászati kézikönyvek meglehetősen sok új csillagról emlékeznek meg, a XIII. század kezdetéig többnyire HUMBOLDT A. »Kosmos«-ára mint közös forrásra támaszkodva. Ennek adatait igen megbízhatónak tartották. De ez nincs így s a legtöbb esetben kétes, vajjon a leírt jelenséget helyesen értelmezték-e?

A XIII. századig új csillagokra vonatkozó adatokat majdnem kizárólag a Ma-tuan-lin kínai krónikájából meríthetünk. Följegyzései 1203-ig terjednek és főleg üstökösökről szólnak. Függelékében rendkívüli jelenségeket ír le. Ezek is valószínűleg legtöbbnyire üstökösök, de tulajdonképpen jellemző részüket, a csóvát, a leírás nem említi. A krónikát BIOT lefordította és HUMBOLDT A. kiválasztotta belőle azokat az adatokat, a melyek talán, vagy valószínűleg új csillagokra vonatkoznak. Sokszor a kiválasztás csak azon alapult, hogy az égitest átmérőjéről, vagy látható mozgásáról nem volt szó. De mindig kockázatos valamilyen megjegyzés hiányából pozitív következtetést vonni. Magukat a kínai adatokat megbízhatónak tekinthetjük, mert Ma-tuan-lin a királyi családok csillagászati évkönyvéből, a Thien-wen-ből vette át.

Az előbbieket megvilágítására néhány olyan jelenséget idézünk, a melyeket a Kosmos új csillagnak vesz.

— 134, július. Csak azt az adatot találjuk, hogy az égitest a Skorpió csillagképben jelent meg. Új csillagként való értelmezése tehát nagyon kétes és csak úgy lesz némileg valószínű, hogy az égitest, mint először HERSCHEL J. észrevette, HIPPARCHOS új csillagával lehet azonos. PLINIUS említi, hogy ez a csillag indította HIPPARCHOS-t csillagjegyzékének megalkotására. De még kétes, vajjon HIPPARCHOS új csillaga nem volt-e maga is üstökös.



+ 123, *december*. Az Ophiuchus csillagképben rendkívüli csillag jelent meg. Nagyon kétes, mert további adatok hiányzanak. Lehet, hogy ez a jelenség azonos a HADRIANUS uralkodása alatt észlelt hasonló jelenséggel. De a két észlelés között hét év telt el.

+ 173, *december*. A Centaurusban rendkívüli csillag. »Akkora volt, mint valami bambusz-gyékény és egymásután az öt színben tündökölt (a kínaiaknál a kék, sárga, vörös, fehér, fekete). Fényessége folyton csökkent, míg a következő év júliusában egészen eltűnt. Ha fényessége kisebbedett és mozgásáról nincs szó, akkor valóban új csillagra gondolhatunk. Még a színváltozás is ezt mutatja, mert az új csillagoknál később ilyen jelenséget megfigyeltek. De megmagyarázhatatlan ellenmondásban van ezzel a fölfogással az égitest nagyságára vonatkozó adat. Ebből csak üstökösre lehet gondolni. Látjuk tehát, hogy itt is kétes, vajjon új csillaggal van-e dolgunk?

+ 386, *április*. A Nyilasban jelent meg, júliusig itt maradt, azután eltűnt. Az a megjegyzés, hogy »itt« maradt, valószínűvé teszi, hogy az égitest új csillag volt.

+ 393, *márczius*. A Skorpióban tűnt fel, hét hónap mulva eltűnt. Minthogy hosszú ideig látszott és mozgásról nincs szó, tehát valószínűleg új csillag volt.

Mennél újabb időből valók az új csillagokról szóló adatok, természetesen annál biztosabbak. De asztrofizikai szempontból csak 1572 óta fontosak, amikor az első megfigyelőjéről elnevezett TYCHO-féle csillag jelent meg. Azért még később is maradtak kétes természetű égitestek. A következőkben néhány kétségtelen esetet röviden leírunk.

1. A *Cassiopeia új csillagát* TYCHO 1572. november 11.-én fedezte fel, de nem-csillagászemberek már előbb is látták. Teljességgel nem volt ködszerű, tehát másképpen festett, mint az üstökösök. Erősen ragyogott. Kezdetben fényesebb volt, mint a Vénus; még világos nappal is látták. Deczemberen a Jupiter fényességéig gyengült és a következő év februáriusában fényerősege akkora volt, mint az elsőrendű csillagoké. 1574. februáriusában hatodrendű volt, tehát szabad szemmel már nem lehetett látni. A fényesség csökkenésekor színe is észrevehetően változott, fehérből sárgán és narancson át vörösbe ment át. TYCHO megállapította, hogy a csillag, mialatt látszott, helyét lényegesen nem változtatta. A TYCHO-

féle hely közelében levő mostani csillagokkal való azonosítás bizonytalan és valószínűtlen.

2. A *Hattyú új csillagát* JANSON fedezte fel 1600. augusztusban. KEPLER 1602-ben mint harmadrendű csillagot figyelte meg. 1621-ig látható volt, ekkor eltűnt. 1655-ben CASSINI szerint újra harmadrendű volt és folyton gyengült. Ma mint a *P Cygni* változó csillag ismeretes.

3. Az *Ophiuchus új csillagát* BRUNOWSKI fedezte fel 1604-ben mint elsőrendű csillagot, de fényessége határozottan kisebb volt, mint a Vénusé. 1605. márciusban harmadrendűig csökkent, 1606. februárban eltűnt.

4. A *Róka új csillagát* ANTHELME mint harmadrendű csillagot 1670. június 20.-án fedezte fel. Néhány hónap alatt fényessége a láthatatlanságig csökkent, de 1671. márciusban CASSINI mint negyedrendű csillagot újra megtalálta. Ismét eltűnt és 1672. március végén mint hatodrendű csillag még egyszer látszott. Ekkor végleg eltűnt.

Bár a távcsövek tökéletesedtek és a csillagászok száma is hatalmasan növekedett, mégis 180 év telt el, míg ismét új csillaggal találkoztak.

5. Az *Ophiuchus új csillagát* HIND fedezte fel 1848. április 28.-án. Ekkor a csillag ötödrendű volt. Fényessége folyton gyengült. 1876. óta fényessége állandó és nagyon gyenge, 12<sup>5</sup>-rendű maradt.

6. A *Skorpió új csillagát* a MESSIER 80 nevű csillaghalmazban AUWERS találta meg 1860. május 21.-én. Fényessége a hetedrendűtől néhány hét alatt az eltűnésig csökkent.

7. A *Korona új csillagát* BIRMINGHAM fedezte fel 1866. május 12.-én. A csillag ekkor másodrendű volt. Az új csillag elnevezés annyiban nem helyes, mert már a bonni katalógusban mint 9<sup>5</sup> rendű csillag szerepel. De ez nincs elvi ellenmondásban az »új csillag« megjelöléssel. Az eddigi esetekben is csak a csillag fényessége volt a láthatóságon alul, de maga a csillag már előbb megvolt. Tehát csak a fényesség növekedett nagy mértékben, még pedig, mint ennél a csillagnál meg lehetett állapítani, igen rövid idő alatt. SCHMIDT csillagász ugyanazon éjjel az égboltot a Korona környezetében 11 óráig megfigyelte, de nem vette észre ezt a feltűnő jelenséget. BIRMINGHAM az új csillagot 11<sup>3</sup>/<sub>4</sub> órákor



fedezte fel. Fényessége eleinte gyorsan csökkent, utóbb lassabban, de a csillag még ma is látható.

A BIRMINGHAM-féle az első új csillag, melynek színképét vizsgálták. HUGGINS és MILLER folytonos színképet látott fényes és sötét vonalakkal. A sötét vonalak eredetét nem sikerült megállapítani. A fényes vonalak közül kettő a hidrogén  $C$  és  $F$  vonalaival bizonyult azonosnak. Azonkívül HUGGINS a csillag körül ködburkot észlelt, a milyent más csillagokon nem lehetett észlelni. A fényes és sötét vonalak együttes megjelenése miatt az új csillagok színképét hosszú ideig a II. b. csoportba osztották be.

8. Tíz évvel később ismét új csillag jelent meg, még pedig a *Hattyúban*. SCHMIDT vette észre 1876. november 24.-én mint harmadrendű csillagot. Fényessége néhány napig állandó maradt, azután gyorsan csökkent, két hét múlva már csak  $6\frac{1}{2}$ -rendű volt. Mint halvány csillag ma is látszik. 1877. május 6.-án HUGGINS a csillag körül halvány ködburkot észlelt.

A Nova Cygni színképét legrészletesebben VOGEL vizsgálta, továbbá CORNU, COPELAND, BACKHOUSE és mások. Eredményeik között több tekintetben lényeges ellenmondás van, de általában a következőket lehet megállapítani. A folytonos színképben sok fekete vonal látszott, különösen feltűnt egy-egy vonal a zöldben és kékben. A kék és az ibolya a folytonos színképben aránylag igen erős volt, más olyan csillagok színképéhez viszonyítva, a melyeknél szintén vannak sötét sávok (III. a. és III. b. csoport). Négy fényes vonalat lehetett felismerni, közülök három a  $H_{\alpha}$ ,  $H_{\beta}$  és  $H_{\gamma}$  vonalakkal volt azonos. Különösen érdekesek azok a változások, a melyek a színképben a fényesség csökkenésekor látszottak. A folytonos színkép fényerőssége csakhamar észrevehetően kisebbedett. A vörös eredetileg is gyenge volt, most egészen eltűnt. A kék és ibolya nagyon gyengült úgy, hogy a folytonos színkép a sárgára és zöldre szorítkozott. Ez magában véve nem feltűnő, mert a PURKINJE-féle jelenség szükségszerű következményének tekintendő. Mikor a folytonos színkép gyengült, a fényes vonalak erősebbek lettek, különösen az 5000 hullámhossznál levő, a mely előbb nem volt nagyon feltűnő. Ez a vonal majdnem egybeesik az 1. ködvonallal. Végül ez a vonal volt túlsúlyban. Több, mint egy évvel később, 1878. februárius-

ban, mikor a csillag a 11. rendnél kisebb fényű volt, csak ez az egy vonal látszott. Az új csillag fénye egyszínű lett.

A Nova Cygni megjelenése határkő az új csillagok történetében, mert színpompát behatóan lehetett elemezni. Érdekes lesz a jelenség nagyszámú magyarázatával megismerkednünk. A föltevések közül az első egyúttal a legközelebb eső: A jelenséget sötét, vagy csak gyengén világító csillagok összeütközése okozza. Ekkor az óriási mozgás-energia nagyrészt hővé alakul, mind a két csillag hatalmas izzás közben újra sugárzik. De ez a föltevés tarthatatlan, mert a mint a közönséges állócsillagokon nem tapasztaljuk a fényesség folytonos csökkenését, éppen úgy nem várhatjuk ezt olyan csillagokon, a melyek egész tömegükben újból izzanak. Erre ezer vagy millió év kellene. De az új csillagokra nézve éppen az jellemző, hogy hirtelen feltűnnek, azután pedig rövid idő alatt, hetek hónapok, vagy néhány év alatt láthatatlan égitestekké gyengülnek. Vegyünk csak olyan állócsillagokat, a melyek sokkal kisebbek a Napnál, a melyeknek tömege például olyan rendű, mint a bolygóké. Pedig ez a föltevés alapján nagyon valószínűtlen. De akkora felmelegedés, a milyenről a színpélelemzés tanúskodik, még ebben az esetben sem csökkenhetne néhány hónap alatt annyira, hogy a sugárzás erőssége századrésztére kisebbedik. Erre legalább évezredek kellenének. A fényesség gyors fogyása biztosan mutatja, hogy azok a jelenségek, a melyeknek következtében a sötét, vagy nagyon gyenge csillag felragyogni kezd, csak a csillag legkülső rétegére szorítkoznak, belsejét ellenben lényegesen nem befolyásolják.

A most említett fontos körülmény figyelembevételével ZÖLLNER fejtett ki először az új csillagokra vonatkozó föltevést 1865-ben, tehát a színpélelemzés eredményeinek ismerete nélkül, csupán a TYCHO-féle csillag megfigyelésére támaszkodva. ZÖLLNER fölteszi, hogy egyes csillagok annyira kihűltek, hogy többé nem izzó salakréteg keletkezett rajtuk (lásd az ő napelméletét). Valamilyen folyamat ezt a salakréteget szétszakítja. A nyíláson a belső izzó tömeg kiáramlik és kiterjedése szerint az égitestnek kisebb vagy nagyobb része újra világít. Mikor az izzó tömegek a felületre jutnak, az itt meglevő vegyületek újra fölbomlanak. A bomlást úgy, mint a Földön, hő- és fényjelenségek kísérik. A hirtelen világítást tehát nemcsak a felületre jutó izzó anyagok okozzák, hanem égéshez



hasonló folyamatok, a melyek úgy indulnak meg, hogy már kihűlt vegyületek az izzó anyaggal érintkeznek.

Ezt a föltevést jól össze lehet egyeztetni a színeképelemzésnek addig ismert eredményeivel.

A kiáramló izzó folyékony anyag tömegének nem kell nagy-nak lennie, tehát a felület kihűlése néhány hónap alatt nagyon valószínű. A folytonos színekép ettől az izzó anyagtól eredhet, az elnyelési színekép pedig részben a csillag légkörétől, részben pedig azoktól a gázoktól, a melyek a vegyületek bomlásakor fölszabadulnak. A világos vonalakat ugyancsak ezek a gázok keltik, továbbá a csillag belsejéből kitörő gázok. Nem lehet kifogást emelni az ellen a föltevés ellen, hogy a gázok hőmérséklete magasabb, mint az izzó tömegeké és így emissziós színeképük van, habár az *Ic* és *IIb* típus fényes vonalainak magyarázata itt is egyszerűbb lenne. A jelenség erősségét azzal a további föltevessel igyekeztek megmagyarázni, hogy a fény nemcsak a csillag belsejéből kitörő gázoktól ered, hanem égésfolyamatokból is. De viszont meg kell gondolnunk, hogy az égéshőmérsékletek általában sokkal alacsonyabbak annál a hőmérsékletnél, a melyet állócsillagokon találunk és annál is, a melyet nagyobb mértékben kihűlt csillag belsejében gondolhatunk.

LOHSE látszólag nagyon valószínű föltevést fejtett ki. Szerinte a kihűlésnek csak annyira kellett haladnia, hogy a csillag körül sűrű és hűvös légkör keletkezett, a mely a fényt nagymértékben elnyeli. A lehűlés bizonyos pontján egyes elemek hirtelen vegyületté egyesülhetnek és az így fölszabaduló hő a csillag újabb világítását okozza. »Kétségtelen, hogy minden izzó égitest valamikor eléri azt az állapotot, a mikor ezek a vegyi folyamatok megindulnak. Talán még abban az időben, a mikor a csillag világított, a fényesség ilyen okból egyideig emelkedett, mert ismeretes, hogy egyes vegyületek meglehetősen magas hőmérsékleten keletkeznek. Ezeknek a vegyületeknek gőzei idővel lényegesen akadályozzák a fény áthatolását. Ha fölszaporodnak, akkor esetleg a csillag kialvását okozzák. Utóbb a hőmérséklet annyira csökken, hogy azok az elemek egyesültek, a melyek az égitest tömegének tekintélyes részét teszik. Ekkor jelentékeny égéshő fejlődik, a csillag hirtelen újra világít. Lehetséges, hogy ez a folyamat a különféle anyagok különböző disszociáció-hőmérsék-

lete folytán ugyanazon csillagon többször megismétlődik, míg végül már minden lehetséges vegyület előállt.

Első pillantásra ez a föltevés nagyon valószínűnek látszik ugyan, de nagy nehézségeket rejt magában. Mikor az új csillag feltűnik, a folyamatok olyan hevesek, hogy ha csak a felületre terjednek is ki, mégis nagy tömegek vesznek bennük részt, tehát a vegyületeknek nagy kiterjedésű térben hirtelen kellene előállniuk. De ez csak úgy lehetséges, ha a hőmérséklet nagy kiterjedésen belül mindenütt egyenlő, ha teljes nyugalom van és sem oldalt, sem a sugár irányában nincsenek áramlások. Ezek pedig nagyon valószínűtlen föltevések. A Napon éppen ennek az ellenkezőjét látjuk.

Ha a hőmérséklet ahhoz a határhoz közeledik, a melynél bizonyos vegyületek alakulhatnak, akkor ezek a vegyületek csak szűk térben keletkeznek. A hőmérsékletnek így előálló emelkedése miatt a vegyülés és bomlás folyton váltakozik, míg végül a kisugárzás miatt a vegyülés jut túlsúlyba. A csillag felületének egyes helyein ez a folyamat szakadásos, ugrásszerű, nem folytonos, de az egész csillagra nézve folytonos és egyenletes.

De a legnyomósabb kifogást kémiai-fizikai szempontból lehet emelni. Az elemek egyesülésekor robbanásszerű hatások csak akkor állnak elő, ha az elemek a vegyülés hőmérsékletén jóval alul vannak és így gáznemű állapotukban is kis teret foglalnak el. A vegyülés beálltakor a hőmérséklet hirtelen emelkedik, a gázok rendkívül kiterjednek. Ha az elemek még tömörebb állapotban vannak, vagyis folyékonyak, vagy szilárdak, akkor a robbanások általában még hevesebbek. De ha a hőmérséklet a disszociáció pontjától kezdve fokozatosan lassan csökken, akkor az egyesülés csendesen megy végbe.

WILSING az új csillagok fellobbanását figyelemreméltó föltevéssel magyarázta. A változó fényű csillagokat vizsgálta KLINKERFUES föltevése szempontjából. Eszerint a változó csillagok egymáshoz igen közel levő kettős csillagok, melyeknél a légkör alakja a kölcsönös vonzás miatt torzul. WILSING azt találta, hogy eredményeit az új csillagokra is lehet alkalmazni.

Az új csillagot WILSING szerint tehát olyan kettős csillagnak kell tekintenünk, mely nagy exczentricitású pályán mozog, minél fogva periasztron-távolsága igen kicsi. A légkör alakváltozása a kölcsönös vonzás miatt ekkor olyan rendű, mint a légkör magas-



sága. A periasztron idején a fényt erősen elnyelő légkör a csillag felületének egy részét szabadon hagyja, tehát a folytonos színkép jelentékenyen erősödik. A légkör alakváltozásával egyidejűleg a csillag belsejében árapály jelenségek keletkeznek, melyek izzó tömegek hatalmas kitöréseit idézhetik elő.

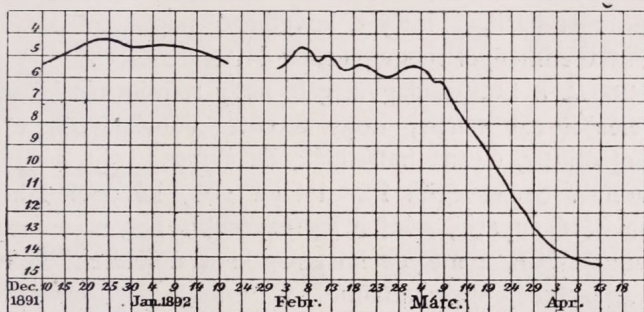
A folytonos színképet fekete sávok és világos vonalak szakítják meg. A fekete sávok a felületnek azon a részén keletkeznek, a hol még van légkör. A világos vonalakat a csillag belsejéből kiáramló izzó gázok keltik. A mikor a kísérő csillag a periasztronon túlment és egyre távolodik, a légkör a felületet lassan újra beburkolja és a folytonos színkép egyre gyengül. Az izzó gáztömegek kis sűrűségük miatt a fényt elnyelő légkör fölé kerülve lassan lehűlnék. Emiatt a világos vonalak erőssége is csökken.

Nem lehet tagadni, hogy van valami valószínűtlen benne, ha olyan kettős csillagokat teszünk föl, melyeknél a keringésidő néhány száz év és a periasztron-távolság csekély. De az Algol és más hasonló természetű változó csillagok színképelemzéséből biztosan kiderült, hogy egymáshoz igen közel eső kettős csillagok valóban vannak, pedig azelőtt ilyen rendszereket nagyon valószínűtlennek hittek.

Ha azokat a lehetőségeket vesszük számba, a melyek meg lehetőszen kihűlt csillagok felületét világításra indítják, akkor arra is kell gondolnunk, hogy a csillag aránylag kis tömegű égitesttel összeütközhetik, illetőleg valami aszteroidaforma kis égitest rája zuhan. Ezáltal a felület egyik pontján nagy hőmennyiség fejlődik, a mely a légkört esetleg nagyobb környezetben jelentékenyen fölmelegíti és égésfolyamatokat indít meg, sőt talán kitöréseket is kelt a csillag belsejéből. Ha a gyors lehűlést akarjuk magyarázni, akkor ZÖLLNER eljárásához hasonlóan csak azt kell föltennünk, hogy a meleg tömegek a felületnek aránylag nagy részén oszlanak el. Abban nincs semmi valószínűtlen, hogy a csillag kis testtel összeütközik. Elégedjünk meg azzal a megjegyzéssel, hogy ez a magyarázat lehetséges.

Az eddigiekben azt ismertettük, a mit az új csillagokról akkor tudtunk, mikor 1892-ben a Nova Aurigae megjelent. A színképelemzés ekkor már tökéletesedett, a fotografiával is összekötötték, ezért az új csillag színképét sokkal részletesebben vizsgálták és így egészen új és váratlan szempontokra jutottak.

9. A *Nova Aurigae* új csillagot ANDERSON fedezte fel 1892. januárius 23.-án. A csillagos égboltnak avval a sok fotografiájával, a mely a HARVARD-College-csillagvizsgálóban készült, az új csillag történetét meglehetősen biztosan meg lehetett állapítani. Az 1891. november 2.-án készült fölvételen a csillag hiányzott, tehát mindenestre gyengébb volt a 11. rendnél. Ugyanebben az évben december 10.-én mint  $5\frac{1}{2}$ -rendű csillag látszott a lemezen. december 20.-án negyedrendű volt. Talán ekkor volt legfényesebb. Felfedezése után fényessége gyorsan csökkent, 1892. áprilisban már csak a legnagyobb távcsövekben mint nagyon gyenge



193. rajz.

csillag látszott. 1892. augusztusban fényessége ismét  $9\frac{1}{2}$  rendig növekedett. Utóbb gyengült, de még mindig látható.

193. rajzunk az új csillag fényváltozásának görbéje LINDEMANN szerint. A görbe első ága januárius 20.-áig a HARVARD College-csillagvizsgáló fölvételei alapján készült, a második ág pedig a felfedezés utáni megfigyelések alapján. Látjuk, hogy a fényesség nem egyenletesen csökkent, hanem különösen eleinte időszakosan változott és így a görbe hullámos. Márciustól kezdve a fényesség, úgy látszik, egyenletesebben fogyott.

Sok színképelemzést végeztek ezen az új csillagon és sok spektrofotikus fölvételt készítettek róla. A kapott eredmények két tekintetben érdekesek. Egyrészt azokra a változó jelenségekre vonatkoznak, a melyek az egyes vonalakban mutatkoztak, másrészt az egész színképre.

HUGGINS és LADY HUGGINS közvetlen megfigyeléssel megállapították, hogy a  $H_\alpha$ ,  $H_\beta$  és  $H_\gamma$  hidrogénvonalak igen fényesek



és szélesek voltak, szélük a törékenyebb oldal felé élesebb volt, mint a másik oldalon. Némelykor a fényes hidrogénvonalakat kettősen, vagy hármasan látták, *de a törékenyebb oldalon mindig voltak széles, sötét elnyelési sávok.*  $H_{\beta}$ -nál a földi hidrogénvonal összeesett a csillagvonalnak ibolya felé eső, fényes szélével. A nátriumvonalak is fényesek voltak, kissé a vörös felé látszottak eltolódva lenni, de észrevehetően kevésbbé, mint a hidrogén vonalai. A színekép fotografiáin a hidrogén összes fényes vonalai sötét összetevőjükkel látszottak. Sok más fényes vonalat is sötét összetevő kísért.

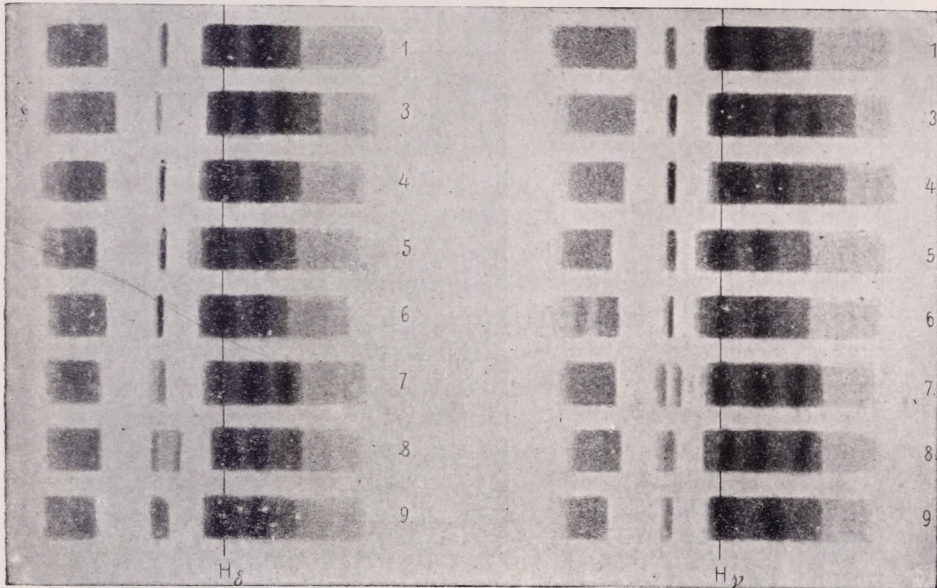
BELOPOLSKY márczius 1-én a sötét  $H_{\gamma}$  vonalban vékony fényes vonalat talált, a mely a következő napokban kettős lett, Egyébként eredményei megegyeznek HUGGINS-éivel.

CAMPBELL a LICK-csillagvizsgáló nagy refraktorán közvetlen megfigyeléssel azt találta, hogy a sötét vonalak ott, a hol a fényeseket érintik, élesen határoltak, de a másik oldalon elmosódottak voltak. Szélességük  $1.2-1.4 \mu\mu$  volt, közepük körülbelül  $1.1 \mu\mu$ -nal törékenyebb, mint a legfényesebb helyek a megfelelő fényes vonalakban, a melyek látszólag kissé a sötétek fölé helyezkedtek. A színekép fotografiáiból CAMPBELL azt következtette, hogy kezdetben a fényes vonalak kevésbbé határozottak voltak, mint utóbb. Ennek részben, de nem egészen, a folytonos színekép gyengülése lehetett az oka. Márczius 6.-án a fényes kettős vonalak mindkét része majdnem egyenlő fényes volt, holott előbb a törékenyebb összetevő fényesebbnek látszott. Nemcsak a hidrogén sötét vonalaiban voltak vékony, fényes vonalak, hanem a zöld színbe eső három fekete vonalban is, még pedig a fényes vonalhoz képest mindig ugyanabban a viszonylagos helyzetben.

A legrészletesebb vizsgálatokat, különösen a hidrogénvonalak viselkedésére vonatkozólag, VOGEL-nek köszönhetjük. Ő azt találta, hogy a vonalak alakja az összetevők száma és szélessége tekintetében gyakran változott. A fényes vonalakban mindig legalább két fénymaximum volt. Néha határozottan hármat, sőt egy esetben négyet is lehetett észlelni. A sötét vonalakban a közepük felé mindig látszott éles, fényes vonal, néha kettő. A hidrogén vonalai tehát némelykor 5—6 összetevőből álltak, még pedig három fényes vonalból a kevésbbé törékeny oldalon, egy sötétből a törékenyebb oldalon és ebben egy, vagy két éles

fényes vonalból. Nagyjában a hidrogén vonalai egymással meg-  
egyeztek.

VOGEL, BELOPOLSKY és CAMPBELL méréseiből az alábbi közép-  
értékeket kapjuk ( $\mu\mu$ ) millimikronokban kifejezve a csillagvonalak  
eltolódására nézve a földi hidrogénvonalakhoz képest.



194. rajz.

A vonal	$H_{\beta}$	$H_{\gamma}$	$H_{\delta}$	$H_{\epsilon}$	$K$	Közép- érték
A sötét vonal közepe ...	—	— 1.2	— 1.1	—	—	— 1.2
Világos vonalak a sötétben	— 1.0	— 0.9	— 0.8	— 1.0	— 0.9	— 0.9
1. maximum ...	0.0	0.0	— 0.1	— 0.2	— 0.2	— 0.1
2. maximum ...	+ 0.8	+ 0.8	+ 0.6	+ 0.4	+ 0.3	+ 0.6
3. maximum ...	+ 1.5	+ 1.4	—	—	—	+ 1.5

Az összetevők helyzete tehát jelentékenyen változik. A fényes  
és sötét vonalak közepének eltolódása egymáshoz képest  $1.8\mu\mu$ -t  
is elérhet. De mert valószínű, hogy a sötét vonal közepének becslése

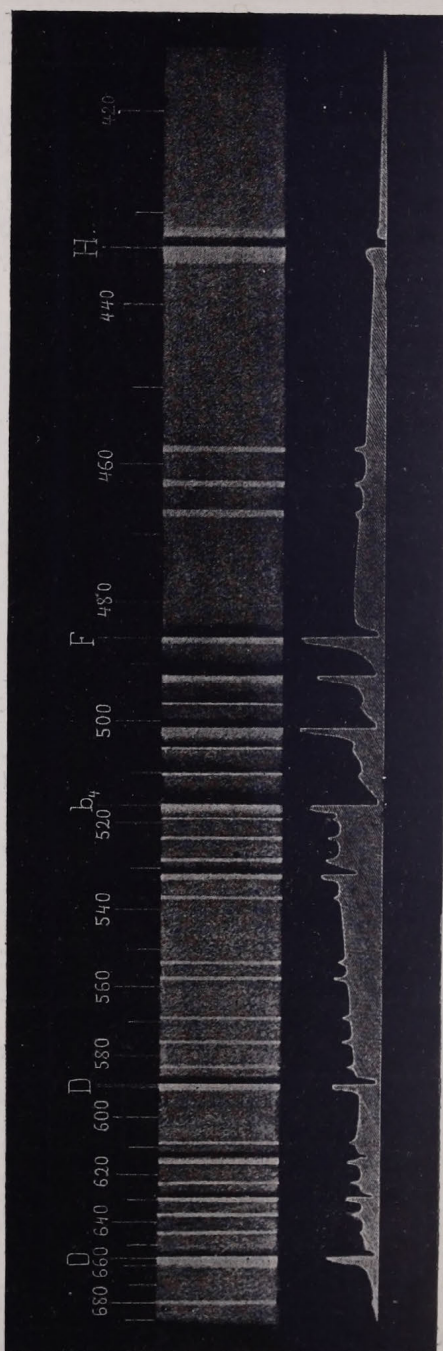


nem helyes, mert egyik oldalán a fényes vonal elfödi, azért az előbbi értéket csökkenteni kell. Az eltolódás mindenestre lehetett  $1.5 \mu\mu$ .

194. rajzunk a hidrogén-vonalakat és változásait mutatja VOGEL fotográfiái szerint. A színeképek negatívok, vagyis a fényes vonalakat sötétek ábrázolják és viszont. Az áthúzott vékony vonal az első sorozatban a  $H_\beta$  normális helyét mutatja, a második sorozatban a  $H_\gamma$ -ét. A fölvételek egymásután a következő napokon készültek: 1892. februárius 14., 17., 20., 23., 25., március 3. és 4-én.

195. rajzunk a Nova Aurigae egész látható színképét tünteti fel. CAMPBELL rajzolta 1902. febr. 28.-án. A színekép alatt a fényesség eloszlásának grafikus ábrázolását látjuk.

CAMPBELL összeállította a fényesebb vonalak jegyzékét és megkísérelte azonosítani őket ismeretes vonalakkal. Habár a mérések pontossága nem nagy, mégis figyelemreméltó az összeesés azokkal a YOUNG-féle kromoszféra-vonalakkal, a melyek fényességükkel és gyakoriságukkal tűnnek ki.

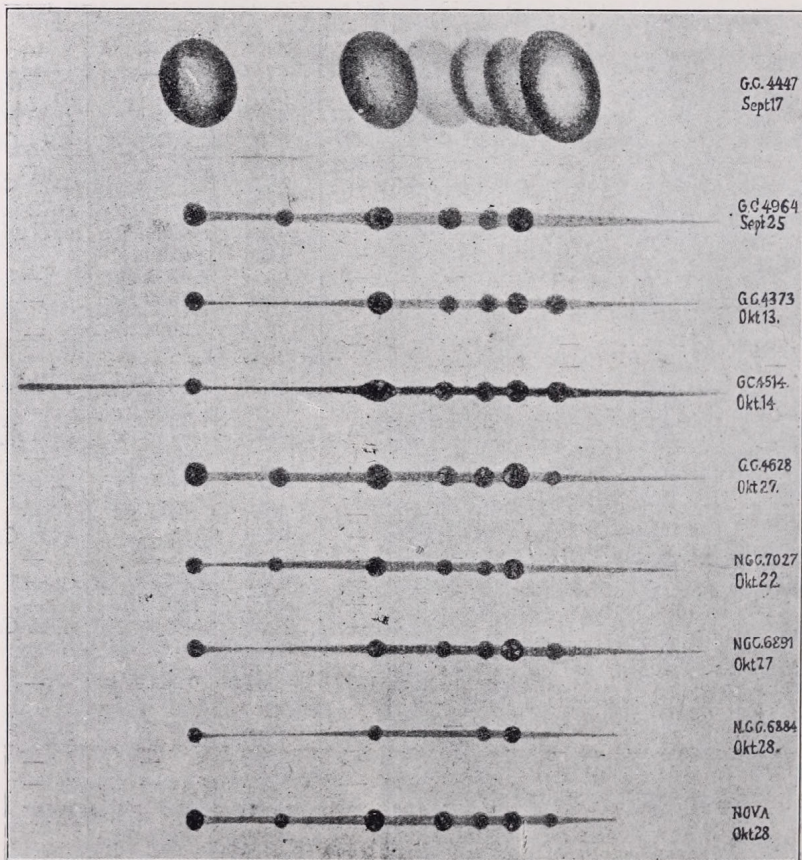


195. rajz.

Nova Aurigae		Kromo- szféra	Más vonalak	Nova Aurigae		Kromo- szféra	Más vonalak
Opti- kailag	Fotogr. úton			Opti- kailag	Fotogr. úton		
6563	—	6563 H $\alpha$	—	—	4774	—	—
6451	—	6455 —	6451 Ca	—	4737	—	—
6369	—	—	—	—	4707	—	4705 Mg
6296	—	—	6304 Fe	4670	4669	—	4670 Na
6240	—	6247 Fe	—	4629	4630	4630 Fe	4629 Ce
6155	—	—	6162 Na	4583	4586	4584 Fe	—
6087	—	—	—	—	4576	—	4573 Ce
—	—	—	—	—	4570	—	4572 Ti
5896	—	5896 Na}	—	—	4564	4566 Fe	4571 Mg
—	—	5890 Na}	—	—	4559	4560 Fe	—
5885	—	5876 He	—	—	4554	4554 Ba	—
5841	—	—	—	—	4549	4550 Fe	—
5761	—	—	—	—	—	—	—
5690	5685	—	5689 Na	—	4534-től }	4534 Fe	—
—	5630	—	—	—	4502-ig }	4502 Ti	—
—	—	—	—	—	—	—	—
5578	5584 }	—	5587 Fe	—	4490	4492 Mn	—
—	5575 }	—	5577 Fe	—	—	4490 Fe	—
5535	5535	5535 Fe	—	—	4481	4482 Fe	4481 Mg
—	5454	5456 Fe	—	—	—	4472 Ce, He	—
5378	5379	5372 Fe	—	—	4471	4470 Fe	—
—	—	—	—	—	—	—	—
5318	5329 }	5317 Fe	—	—	4445	4444 Fe	—
—	5318 }	5317 Fe	—	—	4436	—	4435 Ca
—	—	—	—	—	4419	—	—
5280	5285 }	5285 Fe	—	—	4385	4385 Ca, Ce	—
—	5276 }	5276 Fe	—	—	4375	4377 Fe	—
5232	5234	5235 Fe, Mn	—	—	4355	—	4354 Ca
5193	5200	5198 —	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	4348	—	—
5168	5176 }	—	—	4341	4341	4341 H $\gamma$	—
—	5169 }	5170 Fe, Mg	—	—	4331	—	—
—	5159 }	—	—	4320	4316	—	4318 Ca
—	—	—	—	—	4296	—	—
5102	5142	—	—	—	4267	—	—
5055	5095	—	—	—	4246	4246 Fe	—
—	—	—	—	—	—	—	—
5014	5018 }	5019 Fe	—	—	4236	4236 Fe	—
—	5007 }	5016 Ti, He	—	—	4227	—	4227 Ca
4969	4969	—	—	—	4209	4216 Ca	—
—	—	—	—	—	4180	—	—
4923	4929 }	4924 Fe	—	—	4166	—	4167 Mg
—	4923 }	4922 He	—	—	4126	—	—
—	4913 }	4919 Fe	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	4108	—	—
4862	4870 }	—	—	—	4102	4102 H $\delta$	—
—	4862 }	4862 H $\beta$	—	—	4095	—	—
—	4851 }	—	—	—	4082	4078 Ca	—



A Nova Aurigae szinképében beállott változások, mikor fényessége csökkent, teljesen megegyeznek a Nova Cygni szinképében észlelt változásokkal. Itt is végül a  $\lambda 5000$  hullámhossznál levő



196. rajz.

vonal lett a legfeltűnőbb. Mikor 1892. augusztusban a Nova újra megjelent, fénye közepes távcsövekben újra egyszínűnek látszott, épen úgy, mint a Nova Cygni esetében. Nagyobb távcsövekben, különösen a fotografia segítségével ki lehetett mutatni, hogy a  $\lambda 5000$  hullámhossznál levő vonal a legfényesebb volt ugyan, de

a többi ködvonal is látszott, még a fényességek viszonya is ugyanolyan volt. Ezt az igen érdekes tapasztalatot csak úgy lehet értelmezni, hogy a Nova Aurigae színeképe ködfolt színeképebe ment át. GOTHARD JENŐ a Novát objektívprizmával lefotografálta. A képek olyanok voltak, mint a fényesebb ködfoltoké (196. rajz). A legelső színekép a Nováé, a mely egyik ködfoltnak, a G. C. 4628-nak színeképével teljesen megegyezik. Más ködfoltoknál csak a  $\lambda$  3724 hullámhosszra eső vonal hiányzik.

De evvel még nem merítettük ki azokat a meglepetéseket, a melyeket a Nova Aurigae okozott, mert színeképe még tovább változott. PERRINE 1903-ban az egyik ködvonalat sem találta meg, csak gyenge folytonos színekép maradt.

A legérdekesebb jelenség a Nova Aurigae színeképében az, hogy a hidrogén vonalai és néhány más vonal, mint említettük, mindig kettős. A finomabb részleteket nem számítva, a vonalak *egymás mellett* levő fényes és sötét összetevőből állnak. Ugyanazon elem vonalainak hullámhossza tehát eltérő volt. Erre a tapasztalatra éppen akkor jutottak, a mikor az asztrofizikai vizsgálatok elsősorban a színeképvonalak eltolódására vonatkozó DOPPLER-FIZEAU-féle elv új, korszakos alkalmazásaira irányultak. Így fedezték föl az Algol-rendszerű kettős csillagokat. Akkor még csak egyféleképpen tudták a hullámhossz változását magyarázni, t. i. a DOPPLER-féle elv alapján. Azon túl a szelektív emissziós és abszorpcziós vonalaknak hullámhosszát változhatatlannak tekintették, annyira változhatatlannak, hogy MICHELSON azt javasolta, hogy bizonyos színeképvonalak hullámhosszát használják föl a méter helyett a hosszegység kifogástalan és változatlan megállapítására.

Tehát természetes volt, hogy a Nova Aurigae színeképében észlelt eltolódásokat csakis a DOPPLER-féle elv alapján igyekeztek magyarázni. Vagyis azt tették föl, hogy az eltolódásokat az izzó gázok mozgása okozza. Az a sok föltevés, a mely a Nova Aurigae megjelenése után napvilágot látott, mind mechanikai mozgásból indul ki. Persze a látósugár irányába eső sebességre igen nagy értékeket kaptak, másodpercenként 500 km-nél többet. A fényes és sötét összetevők viszonylagos eltolódásának legvalószínűbb értéke 1300 km-nyi sebességkülönbségre vezetett.

Ilyen nagy sebességek joggal kétséget támasztottak a magyarázat helyességével szemben. De viszont azt is lehetett gondolni,



hogya mi a világegyetem tömegeit és mozgásait kevésbé ismerjük, tehát valószínűtlenségről csak érzésünk szerint beszélhetünk, de nem tudományos értelemben. Ezért különféleképpen igyekeztek ezeket a nagy sebességeket valószínűvé tenni, vagy egyáltalában nem szóltak róluk. A sokféle föltevésnek ma már csak történeti érdekessége van, de azért néhányat röviden megemlítünk. A bírálatról lemondhatunk, mert a föltevések alapja azóta helytelennek bizonyult.

SIDGREAVES föltevése szerint az új csillag egységes, osztatlan égitest. A vonalak kiszélesedését a gázoknak oly körben áramlásával magyarázza, a melynek síkja kis szöggel hajlik látósugarunkhoz. Az örvénylő gázoknak felénk közeledő részeit elég vastag réteg borítja, a mely a fekete vonalakat kelti. Az új csillag színeképének összes jelenségeit csakugyan meg lehet magyarázni olyan forró gázokból álló ciklonnal, mely a csillag légkörének alsó rétegeiben felénk irányul, fölfelé áramlik, a légkör felső rétegeiben pedig visszafordul. De ilyen lefolyású légköri zavart, a nagy sebességet és a tartamot valószínűvé kellene tenni. Ha tekintetbe vesszük, hogy a mi kis Földünkön a forgószeleknek milyen pusztító hatásuk van, akkor az előbbi föltételek hatalmas csillagon valószínűek lehetnek.

Mások is csak egyetlen égitestet vesznek föl. Szerintük hirtelen erős gázáram indul felénk úgy, hogy a viszonylagos sebesség a csillag és a gáz között megfelel az észlelésnek. A fekete vonalak az eredeti csillag színeképéhez tartoznak.

HUGGINS föltevése az, hogy két csillag, a mely már meglehetősen kihült, egymáshoz közel halad, akár úgy, hogy nagyon excentrikus pályán mozog, akár véletlen találkozás következtében. Az utóbbi valószínűbb, mert különben a nagy sebességet csak óriási tömeggel lehetne magyarázni. A további jelenségek a KLINKERFUES—WILSING-féle magyarázat szerint következőképpen folynak le. A kölcsönös árapály hatalmas kitöréseket okoz, a melyek elektromos jelenségekkel kapcsolódnak. Ezek a Napon észlelt kitörésekkel hasonlíthatók össze, de sokkal hatalmasabb méretűek. A színekép vonalainak változását a különféle kitörések okozzák. Az a fényforrás, a mely a folytonos színeképet idézi elő az ibolya felé elmosódott szélű fekete vonalakkal, mindig az elnyelő gázréteg mögött marad. Ebből a fényforrásból és az elnyelő

gázból alakul a felénk közeledő égitest. A két test fejlődésének különböző állapota az oka annak, hogy a tőlünk távolodó test a másikkal ellentétben fényes vonalakat tüntet fel.

BELOPOLSKY azt hiszi, hogy az új csillag színképének magyarázata végett csak azt lehet föltennünk, hogy két vagy több testnek egymás fölé helyezkedő színképével volt dolgunk. Az egyik testet sűrű hidrogén-légkör burkolta, hőmérséklete aránylag alacsony volt és óriási sebességgel közeledett felénk. A másik test fényes hidrogén-vonalakat keltett, hőmérséklete magas volt, az észlelés ideje alatt először távolodott tőlünk, majd közeledett hozzánk. A második test több kisebb részből állhatott, a részek mozgásának iránya látósugarunkkal különböző szöget zárt be. A főtest óriási sebessége nem változott. A kis testek ennek légkörében lobbantak föl, tömegük hozzá képest igen kicsi volt, tehát egészen átalakulhattak gázzá. A kis testeknek ez a rendszere valószínűleg hiperbolás pályán mozgott a főtest körül. Mikor a testek a gázburkot elhagyták, fényük megszűnt.

VOGEL H. C. abból a föltevésből indul ki, hogy az a test, a mely az új csillag színképében a fekete vonalakkal megszakított folytonos színképet keltette, olyan sötét állócsillaghoz közeledett, a melyet Napunk módjára bolygórendszer vett körül. A rendszerbe lépő csillag azáltal, hogy egy nagyobb, vagy több kisebb égitest közelében elhaladt, vagy talán több kisebb égitesttel összeütközött, hirtelen erős izzásnak indult. A színképelemzés idején ez a csillag a föltételezett rendszernek olyan helyén volt, a melyet kis testek sűrűbben kitöltöttek. Ezek a kis testek a közeli elvonulás és részben az összeütközések következtében a behatoló csillag felületének és légkörének magas hőmérsékletét fenntartották. A folytonos színkép, a mely messze benyúlik az ibolyába, ezt mutatja. Közben a kis testek is rendkívül fölmelegedtek, nagy sebességre tettek szert és így a fényes vonalakból álló színképet keltették. Mozcásukat a középponti csillag szabályozta úgy, hogy valósággal a behatoló test felé áramlottak. A szabad felület megzavarodása hatalmas kitöréseket okozott. Ezáltal a középponti csillag és a rendszer nagyobb testei is fölmelegedtek és szintén fényes vonalakból álló színképet keltettek. Így egyszerűen meg lehet magyarázni a fényes hidrogén-vonalakban a legnagyobb fényerősséget, a mely a világűrben végbemenő lassú mozgást árult el.



A második és az utóbb megjelenő harmadik fényesség-maximumot, sőt a sötét vonalakban keletkező vékony fényes vonalakat — hacsak nem a színkép megfordításából keletkeztek — meg lehetne magyarázni olyan föltevésekkel, a melyek ilyen megzavart rendszerben elég valószínűek. Az új csillag második megjelenését 1892-ben az okozhatta, hogy a nagy sebességgel mozgó csillag a rendszer külső tagjaival találkozott.

SEELIGER szintén két égitest találkozását teszi föl, de az egyik nem csillag volt, hanem köd. Ha sötét test ködbe lép, föllülete fölhevül. Az ez által keletkezett gázok leválnak a csillagról és csakhamar akkora lesz a sebességük, mint a köd szomszédos részeiben. A csillag a fekete vonalakkal megszakított folytonos színképet kelti, az említett gázok pedig a fényes vonalakat. A nagy viszonylagos sebességeket a következő módon lehet magyarázni. Mikor a csillag közeledik, a ködtömeg megnyúlik feléje, még pedig növekvő sebességgel. A köd részecskéi a test körül mozognak, sebességük távolságukkal változik. A csillaghoz legközelebb eső részeknek olyan nagy sebességük van, a milyent az új csillagnál megfigyeltek. A míg a csillag a ködben marad, a jelenségek alig változnak, de mihelyt kilépett belőle, fényessége gyorsan csökken. Az új csillag második megjelenését úgy lehet magyarázni, hogy újra ködfoltba hatolt.

Említettük az előbb, hogy a fényes és sötét vonalak kölcsönös eltolódását valószínűleg túlságosan nagyra becsülték, mert ez a két összetevő egymást részben elfödi. Ezt a véleményt különösen a DOPPLER-féle elven alapuló föltevések érdekében hangoztatták. Valóban a színképeknek pusztán optikai egymás mellé helyezkedése esetén is föl lehet tenni, hogy a sötét vonal sokkal szélesebb lehetett és az ibolya felé sokkal messzebb terjedhetett, mint ahogyan a közvetlen szemlélet mutatta. BELOPOLSKY lehetségesnek tartja, hogy a sötét vonalak is elfödték a fényeseket, vagyis a fényes vonalak közepét helytelenül állapították meg. VOGEL ezt a véleményt határozottan elvetette, mert az abszorpcziós vonalak magukban véve nem reálisak, tehát egymásra helyezkedő színképekben semmit sem födhetnek el. A színképeknek egyszerű optikai egymás fölé helyezkedésénél ez helyes is, a föltevés pedig a két égitest gondolatának kényszere alatt éppen erről szólt. De valóságos egymás fölé helyezkedésnél, ha az elnyelő gázok a fényt

kibocsátó gázok és szemünk között vannak, könnyen lehetséges, hogy a fényes vonalak egy része elnyelődik és akkor a BELOPOLSKY-féle magyarázat helyes. Szembeötlő példa fényes vonal ilyféle elnyelésére a Mira Ceti színeképe, a melyet még behatóbban fogunk ismertetni. Ebben a színeképben a hidrogénnek fényes  $H_\epsilon$  vonala a kalcium rendkívül erős elnyelése miatt teljesen eltűnt.

A Nova Aurigae után gyors egymásutánban következnek más új csillagok, a melyeket az ég spektrográfiai átkutatásával párhuzamban mind MRS. FLEMING fedezett föl. Ezek kevésbbé föltűnőek voltak és nem is vezettek sok új eredményre. Némelyikről kétes, hogy valóban új csillag volt-e. De összességükben az új csillagokra vonatkozó föltevések fejlődésében nagy jelentőségük volt, mert majdnem bizonyossá vált, hogy a vonalak kettőzését nem lehet DOPPLER elve alapján magyarázni.

10. A *Nova Normae*-t FLEMING 1893. október 26.-án fedezte föl. Hetedrendű volt, színeképe nagyon hasonlított a Nova Aurigae színeképéhez. A hidrogén vonalai és néhány más vonal kettősek voltak. A fényes összetevők a vörös felé tolódtak el, a sötétek az ibolya felé. Még az eltolódás nagysága is ugyanakkorának látszott, mint a Nova Aurigae színeképében. Mikor fényessége csökkent, színeképe ugyancsak a ködfoltok színeképéhez közeledett.

11. A *Nova Carinae*-ről, melyet FLEMING 1895-ben talált meg, majdnem ugyanazt mondhatjuk.

12. A *Nova Centauri*, a mely 1895. december 12.-én látszott, valószínűleg nem is új csillag, hanem hosszú periodusú változó csillag.

13. Az 1898. április 19.-én fölfedezett *Nova Sagittarii* az előbbiektől eltérően viselkedik. Színeképében csak fényes vonalak vannak, a sötét kísérők hiányzanak. Ezt az égitestet sem tekintenők tehát új csillagnak, ha színeképe utóbb nem egyezett volna a ködfoltokéval.

14. A *Nova Aquilae*-t FLEMING 1899. július 3.-án fedezte föl. Színeképében a hidrogén vonalai kettősek voltak. Nemsokára a ködfoltok színeképét mutatta, végül csak a legfényesebb ködfolt-vonal maradt meg.



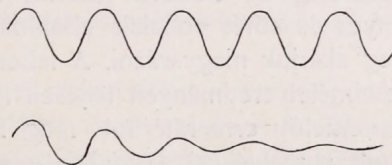
A leírt jelenségek elsősorban arra tanítottak, hogy az új csillagok színképének tipikusan jellemző tulajdonsága a kettős vonalak megjelenése, a melyek közül a fényes vonal mindig a vörös felé tolódik el, a sötét pedig az ibolya felé. Az eltolódás nagysága mindig egyforma rendű. Más csillagok színképében is észleltek hasonló jelenségeket. Ha a magyarázatban a DOPPLER-féle elvhez akartunk volna ragaszkodni, akkor minden ilyen esetben azt kellett volna következtetni, hogy mindig az az anyag, vagy az a test távolodik tőlünk, a mely a fényes vonalakat kelti, míg a sötét vonalakat létesítő test közeledik hozzánk, még pedig majdnem egyenlő, igen nagy sebességgel. Eszerint tehát összefüggés volna az új csillagok jelenségei és naprendszerünk térbeli helyzete között. De ez elképzelhetetlen. Viszont az is nagyon valószínűtlen, hogy ilyen sok eset megegyezése tiszta véletlen.

Tehát egészen más magyarázatot kell a vonalak eltolódására keresnünk, vagyis fizikai okát kell találni a hullámhossz változásának a tömeg mechanikai mozgása nélkül. Nagy energiával igyekeztek ezt a feladatot megoldani, ha nem is tisztán az új csillagok jelenségei alapján. Ma már elméleti és kísérleti szempontból ezt a kérdést főbb vonásaiban megoldottnak tekinthetjük, mert olyan fizikai jelenségeket találtak, a melyek a színképben változást okoznak és ezek a változások az új csillagok színképének legjellemzőbb jelenségeivel formálisan megegyeznek.

Először az elméleti vizsgálatokat akarjuk vázolni. Alapjukat LOMMEL vetette meg 1878-ban az ő elnyelés- és fluoreszkálás-elméletével.

Jóllehet már régebben tudták, hogy a csillapítatlan mechanikus rezgések ideális esete a természetben nincsen meg, mert minden rezgést a súrlódás stb. befolyásol, mégis a fényrezgéseket mindig egészen szabadoknak vették. LOMMEL jutott először arra a gondolatra, hogy az atómban fényt keltő rezgésekre szintén hat súrlódás, tehát a rezgések csillapítottak. Erre a kérdésre nézve egészen mindegy, hogy magát az atómot képzeljük-e rezgőnek, vagy az elektromágneses fényelmélet szerint az atóm elektromos töltését. LOMMEL elmélete csak azt teszi föl, hogy az atóмок külső, periodusos erő hatása alatt rezegnek. Továbbá az az erő, mely az atómot egyensúlyi helyzetébe visszaviszi, olyan legyen, hogy az egyensúlyi helyzettől mért kitérés növekedő hatványai

szerint sorba lehessen bontani. Azonkívül hasson a rezgő részekre a sebességgel arányos ellenállás. Akkor arra az eredményre jutunk, hogy az atómkok részben csillapított rezgéseket végeznek. 197. rajzunk föltűnteti, hogy a csillapított és csillapítatlan rezgések között mi a főkülönbség. A csillapított rezgésnél az amplitudo folyton csökken. De ezen a föltűnő különbségen kívül van másik is, a mely ránk nézve most lényeges. A csillapodás folytán a hullámhossz is változik, még pedig LOMMEL elméleti meggondolásai szerint úgy, hogy az ellenállás hatása alatt végbemenő rezgés többé nem egynemű fényt gerjeszt, hanem folytonos színképet létesít, mely a főrezgésszámnak megfelelő helytől mindkét oldal felé annál messzebbre terjed, mennél nagyobb az ellenállás. Tökéletes gázban nincs ellenállás, tehát színképe csak éles vonalakból állhat. Ha a sűrűség növekedésekor az ellenállás észrevehető lesz, akkor a vonalak kiszélesednek és a vörös felé eltolódnak. Az eltolódás onnan van, hogy a legfényesebb hely a csillapítatlan rezgés periodusának felel meg.



197. rajz.

LOMMEL a fluoreszkálás jelenségét, a melynél az ellenállás igen nagy, elméletével teljesen leírta. Többi eredményei ránk nézve itt nem fontosak.

LOMMEL elméletének ismerete nélkül JAUMANN később (1894) a vonalak kiszélesedésének és a sávok keletkezésének magyarázatára ugyanilyen levezetéseket végzett. Eredményei megegyeznek LOMMEL-ével.

De a LOMMEL-JAUMANN-féle elmélet, mint WILSING kimutatta, még hiányos, mert csak a fényes emissziós vonalak eltolódása a vörös felé következik belőle, de nem a fekete abszorpciós vonalak eltolódása. Ki lehet mutatni, hogy a legnagyobb fényelnyelés akkor áll elő, ha a rezgések periodusa a *csillapítatlan* rezgések időszakosságával megegyezik. Tehát az elmélet szerint a fekete vonalak csak kiszélesedhetnek, de nem tolódhatnak el. WILSING a LOMMEL-féle elméletből továbbá azt következtette, hogy a vonalak kiszélesedése mindig sokkal nagyobb, mint az eltolódás. Ez pedig nem egyezik a tapasztalattal.

WILSING azonban azt is kimutatta, hogy az ellenmondásokat a



LOMMEL-féle elmélet kibővítésével meg lehet szüntetni, ha a csillapított fényrezgések és az ingalengések hasonlóságát a végső következményekig folytatjuk. Ha az inga levegőben, tehát csillapító ellenállás hatása alatt leng, akkor nem elég az inga és levegő sűrűlódását mint csillapító okot számbevenni, hanem a levegő belső sűrűlódását is tekintetbe kell venni, mert a lengő inga mindig magával ragad levegőt. Már BESSEL kimutatta, hogy ezáltal az inga tétlenségi nyomatéka növekszik. Ha a LOMMEL-féle elméletet ebben az irányban kibővítjük, akkor azt találjuk, hogy a csillapodás miatt a fekete vonalak bizonyos föltételek mellett a vörös felé eltolódnak és csak kevésbé szélesednek ki. Hasonló változást szenvednek a fényes vonalak is.

A gáznyomás nagyobbodása a rezgések csillapodását növeli, tehát elég az előbbieket szerint nagy nyomást föltételezni, ha a fényes és sötét vonalak eltolódását az új csillagok színeképében meg akarjuk magyarázni. A laboratóriumbeli kísérleti vizsgálatok az elmélet eredményeit teljesen igazolták.

Mielőtt erre rátérünk, még néhány más elmületről kell szólnunk, a melyekkel a színekép vonalainak eltolódását és kiszélesedését szintén meg lehet magyarázni, ha nem is WILSING-nek azzal a szép eredményével, hogy nagy eltolódások nagy kiszélesedés nélkül lehetségesek.

Az első ilyen elmélet LIPPIG-tól ered, melyet LORD RAYLEIGH és PFAUNDLER is elfogadtak. LIPPIG a vonalak kiszélesedését a DOPPLER-FIZEAU-féle elvből vezeti le, s szerinte ezt azok a molekulák okozzák, a melyek egészen, vagy főleg a látósugár irányában mozognak. Ilyen módon jól meg lehet magyarázni, hogy a vonalak a hőmérséklet emelkedésekor, vagyis a molekulák sebességének növekedése következtében kiszélesednek. De a nyomás növekedésének sokkal nagyobb hatása nehézségeket okoz és a vonalak eltolódásáról ezen elmélet szerint szó sem lehet. EBERT megkísérelte, hogy a LIPPIG-féle elméletet a megfigyelésekkel összehasonlítsa. Legyen  $\mu$  a molekulák közepes sebessége,  $\lambda$  a színeképvonal hullámhossza,  $b$  szélessége,  $V$  pedig a fény terjedésének sebessége. DOPPLER-FIZEAU elve szerint ezek között a következő összefüggés van:  $b = 2\lambda \frac{\mu}{V}$ .

EBERT az elvégzett számításokból azt az eredményt vezette le, hogy a DOPPLER-FIZEAU-féle elvet nem lehet minden további

meggondolás nélkül a molekulák mozgására alkalmazni. Ezután következett ZÖLLNER elmélete, mely a vonalak kiszélesedésének magyarázatánál tisztán KIRCHHOFF törvényére támaszkodik. Ezt a törvényt részletesen ismertettük (l. 162. lap). A vonalak kiszélesedését a nyomás és hőmérséklet folytán egészen meg lehet vele magyarázni. Hasonlóképpen a nem-szimmetrikus kiszélesedést is, ha t. i. fölteszszük, hogy az elnyelés együtthatója a vonal mindkét oldalán nem-szimmetrikusan csökken. De a nem-szimmetrikus kiszélesedést nem szabad az eltolódással összevetészeni, mert ilyenkor az abszorpció vagy emisszió maximumának helye nem változik.

Végül az úgynevezett molekuláris elméletet említjük meg. KAYSER-től ered, de GALITZIN herczeg igyekezett először matematikailag tárgyalni. A molekuláris elmélet a színek vonalainak kiszélesedését közvetlenül a molekulák összeütközésénél keletkező kényszerrezgésekre vezeti vissza.

Az elektromágneses fényelmélet szerint a fény elektromágneses rezgés. Tehát a világító molekulákat ilyen rezgések forrásának kell tekintenünk a HERTZ-féle rezonátorok módjára. Meghatározott rezgésperiodusuk van, mely a molekula tulajdonságaitól függ. Két ilyen világító molekula egy másra indukálólág hat, még pedig folyton változó távolságuktól függő mértékben. A rezgésidő az indukció erősségétől függ, tehát minden molekula rezgésideje egyre változik. A változás nagysága a molekulák sebességétől, tehát a hőmérséklettől és a molekulák közepes távolságától, vagy a gáz sűrűségétől függ. Mint GALITZIN kimutatta, a vonalak nem-szimmetrikus kiszélesedését, még pedig főleg a vörös felé, az elméletből szintén le lehet vezetni, de nem a vonalak valóságos eltolódását.

A vázolt elméleteket az égitestek, különösen az új csillagok színeképében mutatkozó jelenségek magyarázatára úgy használhatjuk föl, hogy az egyszerű kiszélesedéseknél, a nem-szimmetrikusaknál is, ZÖLLNER, LOMMEL és GALITZIN elméletét egyaránt alkalmazhatjuk, de az eltolódások magyarázatára, a mennyiben haladó mozgások nem okozzák, egyelőre csak a LOMMEL-WILSING-féle elmülethez fordulhatunk. Ha a fizikában kevésbé jártas olvasó a vázolt elméleteket talán nem is tudja egészen követni, ez az utolsó következtetés bizonyára előtte is világos lesz.



Most pedig térjünk át a kísérleti vizsgálatokra.

Az első ösztönzést ezekre a kutatásokra JEWELL adta. Mikor ugyanis a ROWLAND-féle »New Table of Standard Wave-Lenghts« számára hullámhosszakat mért, azt találta, hogy a fémeknek ívfényben keletkező vonalai a Nap színképének vonalaihoz képest mindig az ibolya felé tolódtak el. Először azt hitték, hogy a jelenséget a készülék valamely változása okozza, de ez nem igazolódott be. Az eltolódás akkor is megmaradt, mikor a két színképet ugyanarra a lemezre fotografálták, tehát a jelenséget valóságosnak kell tekinteni. A magyarázat a DOPPLER-féle elv alapján lehetségesnek látszott, ha föltették, hogy a Napban az elnyelő hidegebb gázok átlag percenként 30–60 km-nyi sebességgel a fotoszféra felé esnek. De ezen szüntelenül lefelé tartó áram mellett fölfelé irányuló áramnak is kellene lennie, tehát az összes vékony vonalaknak a Nap színképében kettőseknek kellene lenniök, sőt az egyik összetevő fényes is lehetne. De ilyen kettőzésnek nyoma sincs. Ezért már JEWELL belátta, hogy ezt az eltolódást, habár kicsi is, nem lehet DOPPLER elve alapján megmagyarázni, hanem a Nap és az ívfény hőmérsékletének és nyomásának különbségében kell az okát keresni.

Az eltolódások pontosabb vizsgálatából kiderült, hogy a leg-erősebb eltolódást az elemek legfényesebb vonalai szenvedték, továbbá azok a vonalak, a melyek a színképre legjellemzőbbek. Ezek a LOCKYER-féle »hosszú vonalak«, a melyek már a legcsekélyebb anyag jelenlétében is föltűnnek és legkönnyebben megfordíthatók.

Ezek az eredmények arra indították HUMPHREYS-t és MOHLER-t, hogy megvizsgálják a nyomás hatását az ívfényben izzó fémgőzök vonalaira. Vizsgálataik alapvetők. Nagyméretű rácsos spektroszkóppal részben közvetlenül, részben fotografiai úton megmérték erős elektromos ívben izzó fémgőzök vonalainak hullámhosszát, még pedig úgy, hogy a vonalakat a Nap színképének vonalaival hasonlították össze. Az ívet a külső levegőtől vas-hengerben elzárták. A hengeren kis ablaknyílások voltak. A hengerbeli nyomást légsűrítővel 15 légköri nyomásig lehetett növelni. A hengert vízburok vette körül, hogy túlságosan föl ne melegedjék. A műszer ellenőrzése végett az ívfény színképének lefotografálása előtt és után a Nap színképét lefotografálták, továbbá

a szénhidrogénvonalakat is, mert ezeknek hullámhossza észrevehetően nem változott.

Attól lehet tartani, hogy az ezzel a készülékkel kapott eredmények nemcsak a nyomás hatását mutatják, hanem a nyomás és hőmérséklet együttes hatását, mert hiszen arra lehet gondolni, hogy a nyomás növekedésekor az ív hőmérséklete is nagyobbodik. De WILSON vizsgálatai szerint ez nem így van, hanem úgy látszik, hogy a hőmérséklet éppenséggel kissé csökken. Végül HUMPHREYS és MOHLER annak a fénynek színeképét vizsgálták, a mely állandó nyomás mellett az elektródok közvetlen szomszédságából, tehát két meglehetősen különböző hőmérsékletű helyről indult ki, és semmiféle eltolódást sem találtak. Tehát jogosan gondolhatjuk, hogy a kapott eredmények lényegükben csak a nyomás hatását mutatják.

A sok és nagyon pontos megfigyelés a következő eredményekre vezetett:

A vizsgált fémek vonalai a nyomás növekedésekor a vörös felé tolódnak el, de nem minden elemnél egyforma mértékben, sőt ugyanannak a fémnek különböző vonalainál sem egyenlően. Némelykor az eltolódás észrevehető kiszélesedéssel jár együtt, máskor nem. A 13 légköri nyomásig terjedő megvizsgált határon belül az eltolódás a nyomással egyenesen arányosnak vehető.

Ha azt a valószínű föltevést állítjuk föl, hogy a gáz nyomásának növekedésekor a csillapodás állandója nagyobb, akkor ezek a megfigyelések egészen megegyeznek a LOMMEL-WILSING-féle elmélettel. Minthogy a csillapodás kétségtelenül a molekulák természetétől is függ, tehát nagyon valószínű, hogy a csillapodás ugyanannak az elemnek különböző vonalainál eltérő.

HUMPHREYS és MOHLER még más összefüggéseket is le akartak vezetni megfigyeléseikből az elemek fizikai természete és az eltolódás nagysága között. Így az eltolódás szerintük egyenesen arányos a vonalas hőkiterjedés együtthatójának és az atómtérfogat köbgyökének szorzatával, továbbá fordítva arányos a fémek abszolút olvadáspontjával, végül a legtöbb esetben a MENDELEJEFF-féle csoport mindegyik felében az elemek atómsúlyának köbgyöke egyenesen arányos a vonalak eltolódásával. A további megfigyeléseknek kell eldönteniök, mennyire helyesek ezek az összefüggések. Bizonyosan nem kivétel nélkül érvényesek, mint a neodimium és urán példája mutatja.



Ránk nézve különösen fontos az eltolódás nagysága. Értékét az ÅNGSTRÖM-egység ezredrészében kifejezve a következő táblázatban találjuk, még pedig 14 légköri nyomással a  $\lambda$  4000 hullámhosszra vonatkoztatva.

Elem	Eltolódás	Elem	Eltol.	Elem	Eltol.	Elem	Eltol.
<i>Ag</i>	43	<i>Ce</i>	28	<i>Mo</i>	45	<i>Si</i>	48
<i>Al</i>	62	<i>Co</i>	27	<i>Na</i>	30	<i>Sn</i>	65
<i>As</i>	50	<i>Cr</i>	30	<i>Nb</i>	40	<i>Sr</i>	43
<i>Au</i>	53	<i>Cs</i>	200	<i>Nd</i>	12	<i>Ti</i>	22
<i>B</i>	57	<i>Cu</i>	38	<i>Ni</i>	34	<i>Tl</i>	70
<i>Ba</i>	63 (I. csoport)	<i>Fe</i>	30	<i>Os</i>	20	<i>U</i>	12
<i>Ba</i>	40 (II. csoport)	<i>Hg</i>	94	<i>Pb</i>	71	<i>V</i>	25
<i>Be</i>	40	<i>In</i>	100	<i>Pd</i>	39	<i>W</i>	22
<i>Bi</i>	57	<i>K</i>	150	<i>Pt</i>	25	<i>Yt</i>	18
<i>Ca</i>	19 ( <i>H</i> - és <i>K</i> -vonal)	<i>La</i>	35	<i>Rb</i>	150	<i>Zn</i>	68
<i>Ca</i>	60 ( <i>g</i> -vonal)	<i>Mg</i>	40	<i>Rh</i>	35	<i>Zr</i>	32
<i>Cd</i>	92	<i>Mn</i>	38	<i>Sb</i>	52		

Ezek az értékek az elmélettel igen jól egyeznek, irányuk is egybeesik az új csillagok színképében észlelt eltolódásokéval, de az eltolódás nagyságában még lényeges eltérések vannak. A viszonylagos eltolódások a Nova Aurigae színképében közel  $2 \mu\mu$ -t is elérnek, míg a kísérleti megfigyeléseknél 14 légköri nyomásnál az átlagos érték csak  $0.005-0.006 \mu\mu$ . Ha fölteszszük, hogy az eltolódás a nyomással az utóbbinak nagy értékénél is arányos, akkor az új csillagokon néhány ezer légköri nyomásra kellene következtetnünk. Ezt a következtetést kísérletileg még nem ellenőrizték, de helyességét WILSING és utóbb HALE nagyon valószínűvé tették.

Mérhető nagy nyomásokat nehéz előállítani, ezért WILSING azt a tapasztalatot használta fel, hogy ha folyadékon szikra üt át, robbanásszerű nyomás keletkezik úgy, hogy sokszor az edényt is szétveti, de ez a nyomás sem mindig mérhető.

A kísérleti összeállításban nagyobb induktor második tekercsére leydeni palaczkok telepe és szikraköz volt kapcsolva azon a szikraközön kívül, a mely folyadékba merült. Valahányszor a folyadékban (víz, alkohol, gliczerin, olaj) szikra ütött át, a fém-elektrodok között vakítóan fényes kisülés látszott, a mely igen fényes, halvány vonalakkal megszakított folytonos színképet keltett. A vas színképében sok, fényes és sötét összetevőből álló vonal-

pár volt, a fényes összetevő mindig jelentékenyen eltolódott a vörös felé, míg az abszorpcziós vonalakon csak ritkán látszott kis eltolódás ugyanazon irányban.

A nikkel színeképében a  $\lambda 3858$  hullámhosszra eső vonalon látszott ilyen jelenség. Az ón, cink és kadmium vonalai jelentékenyen eltolódtak a vörös felé és egyúttal ki is szélesedtek úgy, hogy némelyik sávnak törékenyebb széle egészen kívül esett a rendes színekép megfelelő vonalának helyén. Hasonló, bár kisebb eltolódás látszott más fémek vonalain is.

HUMPHREYS és MOHLER megfigyeléseivel egyezően WILSING-nél szintén az ón, cink és kadmium vonalai tértek el legjobban, szemben a platina és ezüst vonalainak kisebb eltolódásával. A különböző főlvételeken az eltolódások nem egyenlők. Ennek természetesen az az oka, hogy az elektródok távolságának ellenőrizhetetlen változása miatt a nyomás is mindig más lesz a folyadékban. WILSING kísérleteinél a nyomás bizonyára meg lehetőségen magas, átlag néhány száz légköri nyomás volt.

A kísérletileg így előállított eltolódások és kettős vonalak igen hasonlítanak még részleteikben is azokhoz, a melyek a Nova Aurigae színeképében mutatkoztak. A nagy mértékben eltolódott és kiszélesedett vonalak mindkét esetben az ibolya felé élesen határoltak, a vörös felé elmosódottak, a fényes vonalakban mindkét esetben élesen fölismerhető intenzitásmaximum van. Újabban HALE is hasonló eredményre jutott.

A kísérleti jelenségek és az égbolton tapasztaltak között, egyes részleteket nem számítva, a teljes egyezést még az zavarja, hogy az új csillagok színeképében a hidrogén vonalainak kettőzése különösen feltűnő, míg a kísérletekben ezt nem sikerült előállítani, mert ha a vízben szikra üt át, a hidrogén vonalai nem látszanak. Valószínűleg annyira kiszélesedtek, hogy a folytonos színeképpel teljesen összeolvadnak, sőt talán a folytonos színekép csakis egyedül tőlük ered. Minthogy a hidrogén vonalai aránylag kis nyomásnál nagy hajlandóságot mutatnak a kiszélesedésre, sokan azt az ellenvetést tették, hogy a hidrogén színeképe esetleg nem úgy viselkedik, mint az említett fémeké. De ez nem jogos, mert kimutatták, hogy a hidrogén színeképe a vonalak kiszélesedése következtében csak akkor megy át folytonos színeképbe, ha egyidejűleg a kisülés feszültsége és hőmérséklete növekszik. A GEISSLER-



féle csövekben, a hol az elektródok távolsága nem változik, ez valóban így van. De ha az elektródok elég közel vannak egymáshoz és az induktor árama sűrítő nélkül megy át a csövön, akkor az elektródok között fehér fény jelenik meg, a mely még légköri nyomásnál is éppen olyan élesen mutatja a hidrogén vonalait, mint néhány mm-nyi nyomásnál.

Ennek kiderítése után még csak azt kellett vizsgálni, hogy a hidrogén is azoknak a fémeknek csoportjába tartozik-e, a melyeknek vonalai a nyomás növekedésekor erősebben eltolódnak. WILSING kutatásai ezt kétségtelenné tették, legalább is a  $H_{\beta}$ -vonalra nézve, mert csak ez volt elég fényes.

Ha a szikra szabad levegőben vízzel nedvesített szénpálczák között üt át, akkor a  $H_{\beta}$ -vonal széles, fényes sávnak látszik, közepén keskeny fekete vonallal. WILSING ezzel a színeképpel egyidejűleg GEISSLER-féle csőben levő hidrogén színeképét is lefotografálta. A mérésből kiderült, hogy az abszorpciós vonal a cső  $H_{\beta}$ -vonalához képest  $0.11 \mu\mu$ -nal a vörös felé tolódott el.

A fentebbiek szerint a Nova Aurigae és a rokon természetű csillagok hidrogénvonalainak sajátosságos jelenségeit a KIRCHHOFF-féle törvény teljes fenntartásával mechanikai úton meg lehet magyarázni, t. i. a légkörben levő világító gázok nyomásának növekedésével, ha egyidejűleg különböző nyomású és hőmérsékletű rétegek keletkeznek.

VOGEL megfigyelte, hogy a hidrogén-vonalak időnként kettőnél több összetevőre bomlanak föl. Ezt is egyszerűen meg lehet magyarázni úgy, hogy több, különböző nyomású réteg fejlődik. Mindezeket összefoglalva tehát azt mondhatjuk, hogy azokat a sajátosságos jelenségeket, a melyek az új csillag színeképében a föltűnés első szakában mutatkoznak, a következő föltevésekkel teljesen meg lehet magyarázni. Valamilyen okból a fejlődésnek már meglehetősen előrehaladott fokán levő csillagon izzó gázok, különösen hidrogén, robbanásszerűen fölfelé törnek. A jelenség okát egyelőre az ismertetett föltevések közül szabadon választhatjuk. A kitörés olyan heves, hogy a nyomás néhány ezer légköri nyomásig nőhet. Ezalatt különböző hőmérsékletű rétegek keletkeznek, a melyek folyton változnak. A gázok kisugárzás következtében, de főleg a kiterjedés miatt elég gyorsan lehűlnek.

WILSING a kettős vonalakat a következő módon magyarázta: Ha a csillag tulajdonképpen magját olyan kiterjedt és erősen világító gázburok veszi körül, hogy a magon túl terjedő szélek sugárzása az egész sugárzásnak jelentékeny része, akkor fényes vonalakból álló színekép keletkezik, a mely a mag elnyelési színeképe fölé helyezkedik. A maghoz legközelebb eső, legfényesebb és legsűrűbb alsó réteg sugárzása következtében a mag színeképében a megfelelő elnyelési vonaloknak kevésbé törékeny része fényesnek látszik. Tehát a színeképben fényes és törékenyebb sötét vonalból álló vonalpárok keletkeznek. Mikor az új csillag föltűnik, színeképében a hidrogén, hélium vonalain és néhány kromoszféra-vonalon kívül a könnyen párolgó fémek vonalai is látszanak. A míg az izzó gázok fölfelé áramlanak, továbbá a hőmérséklet és nyomás eloszlása ugyanaz marad, a színekép sem változik lényegesen. Csak később, mikor a gázok áramlása megszűnik, a sugárzás és kiterjedés következtében lehűlés áll be, a színekép a legfényesebb zöld és zöldes-kék részekre húzódik össze, végül a folytonos színekép és vele az elnyelési színekép többnyire teljesen megszűnik. Ekkor már előtérbe lép az az elektromos eredetű világítás, a mely az előbbi folyamatok alatt fejlődött ellenkező töltések lassú kisülésekor keletkezik. Ez a fény a színeképben változásokat okoz. Ugyanis a fémgőzök lecsapódása után a gázburok azon részeinek vonalai, a melyek a kisüléseket főleg vezetik, fényesebbek lesznek. Az új csillagok fejlődése új egyensúlyi állapot felé irányul. Ekkor a mag nehezen párolgó elemekből áll, a főleg fölfelé áramló tömegekből alakult burok pedig aránylag nagy kiterjedésű.

A Nova Aurigae megfigyelései kevés fényt derítettek azokra a folyamatokra, melyek a fejlődésnek ehhez a második fokához vezetnek, melyben a ködfolt színeképe jelenik meg s melyet már a WILSING-féle elmélet is vázol. Erre utóbb még visszatérünk.

Sokkal gyorsabban és tökéletesebben, mint várni lehetett, teljesedett az a vágy, hogy a kettős vonalak magyarázatának helyességét újabb esetben meg lehessen vizsgálni.

17. 1901. februárius 21.-én ANDERSON, a Nova Aurigae fölfedezője, a *Perseus csillagképben*  $2\frac{1}{2}$  rendű csillagot talált, mely másnap első rendnél is nagyobb fényességet ért el.



Tőle függetlenül mások is észrevették ezt a csillagot. Bizonyára néhány óra alatt ment végbe a fölragyogása, mert ugyan ezen este sokan figyelték az égboltnak ezt a részét és senkisémm látta. Az égboltnak ezt a vidékét WILLIAMS 28 órával a fölfedezés előtt lefotografálta. Az új csillagnak nyoma sincs a fotografián, tehát mindenestre gyengébb volt, mint a 12. rendű csillagok.

198. rajzunk a Nova Persei fényességének változását mutatja szeptember 1-ig KOSTERSITZ szerint. A Nova Aurigae-vel ellentétben az első fölvilágítás gyorsan következett be. Innen kezdve a fényesség hirtelen csökkent és pedig hasonlóan, mint a Nova Aurigae-nál, t. i. eleinte elég gyorsan, szabálytalan ingadozásokkal. De márczius 19.-étől kezdve a fényesség nagyon szabályosan, időszakosan változott, közben pedig állandóan fogyott. A fényváltozás időszaka körülbelül 4 nap, a fényesség különbsége 2 nagyságrendet ért el. Június közepe tájától a változás már nem volt olyan nagy és úgy látszik, hogy a periodus hosszabb lett. Végül csak olyan kis ingadozások maradtak, a melyek talán nem is valószínűsok. Úgy látszik, hogy a hullámok alakja is, a melyek az időszakos fényváltozást tüntetik föl, lassan szintén megváltoztak. Eleinte a fényesség-maximum hosszabb ideig tartott, mint a minimum. Később, körülbelül áprilistól kezdve, egészen határozottan ellenkezőleg volt.

Az első színképelemzések látszólag egészen más eredményre vezettek, mint az előző új csillagoknál. PICKERING és VOGEL az első két napon erős folytonos színképet figyeltek meg, melynek különösen a kék és ibolya része volt fényes. Körülbelül 30 fekete vonal látszott, a hidrogén, szilícium és magnézium vonalai igen szélesek és elmosódottak voltak. A kalcium *H* és *K* vonalai ellenben igen élesen látszóttak. VOGEL fényes vonalnak nyomát sem tudta találni, ellenben PICKERING néhány sötét sávnak kevésbé törekeny szélén fényes szegélyt figyelt meg. De már a következő napon, februárius 24.-én a sötét sávoknak fényes összetevői egészen határozottan mutatkoztak, úgy hogy innen kezdve az új csillagokra jellemző színkép mutatkozott.

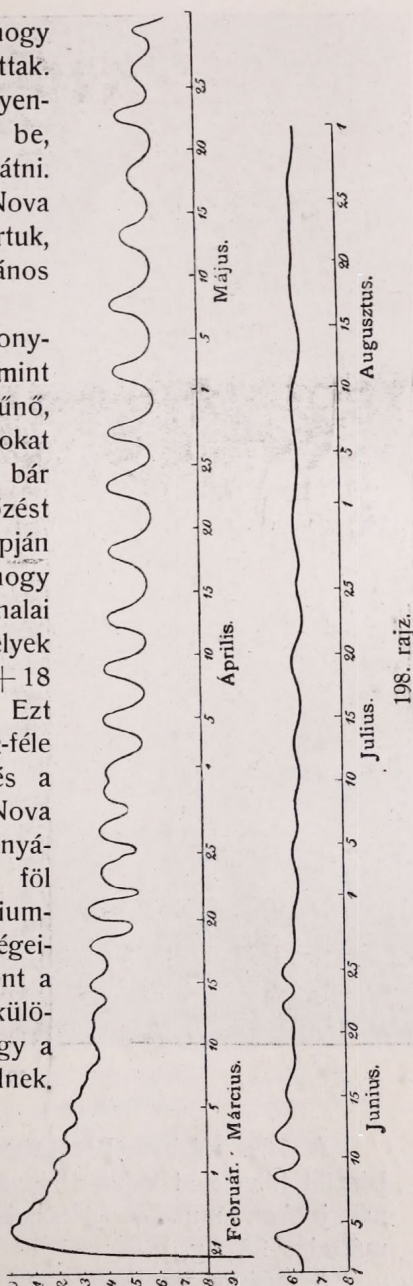
Eleinte a fényes vonalak hiányának kelleténél nagyobb jelentőséget tulajdonítottak. De már PICKERING megfigyelései alapján kétségtelen, hogy a fényes vonalak már kezdetben megvoltak, mikor a csillag a legfényesebb volt, csakhogy az erős folytonos

színkép annyira túlsugározta őket, hogy kisebb színszórásnál nem látszottak. Csak mikor a folytonos színkép gyengült, a mi legelőször következett be, lehetett a fényes vonalakat meglátni.

Tekintettel arra, hogy a Nova Aurigae színképét részletesen leírtuk, a Nova Persei színképének általános jelenségeit röviden jellemezhetjük.

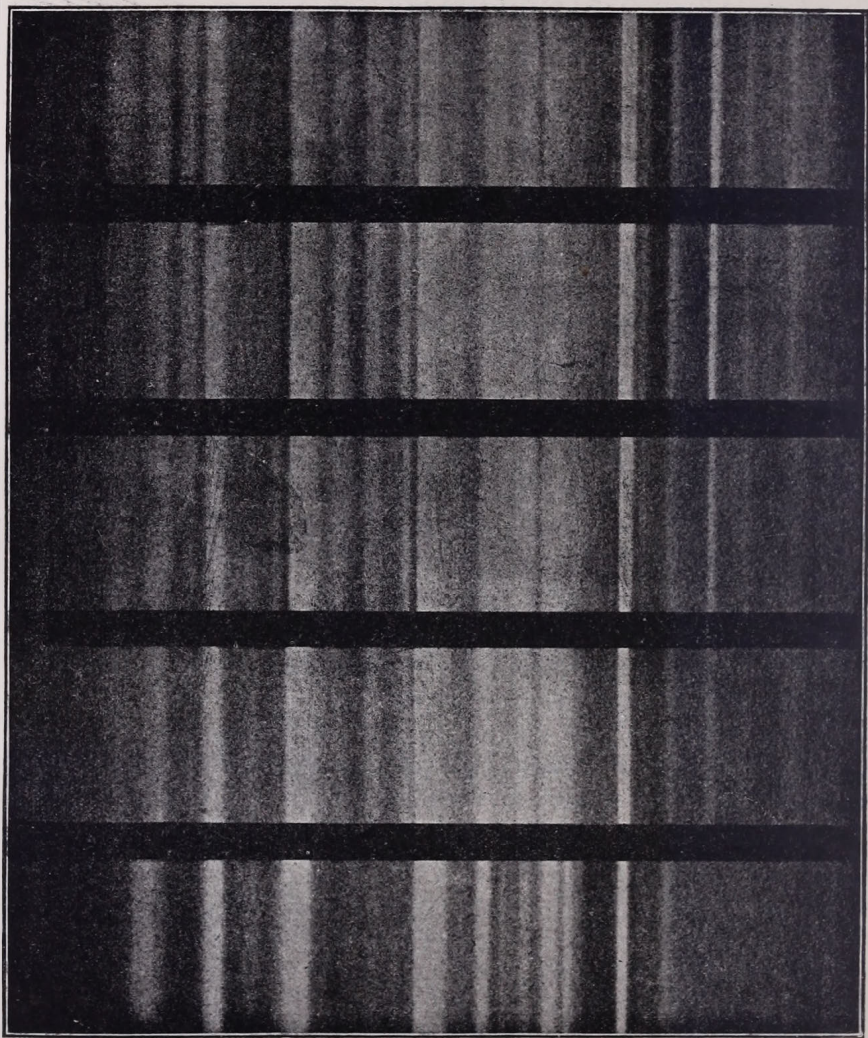
A fényes és sötét vonalak viszonylagos eltolódása olyan rendű volt, mint a Nova Aurigae-nál. Csak az föltűnő, hogy az első hírek az eltolódásokat megint kilométerekben adják meg, bár ekkor már világos volt, hogy a kettőzést nem lehet a DOPPLER-féle elv alapján magyarázni. Különösen érdekes, hogy a kalciumnak már említett éles vonalai igen kis eltolódásokat mutattak, melyek HARTMANN mérései szerint csak  $+18$  km-es sebességnek felelnek meg. Ezt az eltolódást valóban a DOPPLER-féle elv alapján lehetne értelmezni és a belőle számított értéket mint a Nova Persei sebességét a látósugár irányában lehetne tekinteni. De akkor föl kell tenni, hogy az elnyelő kalciumgőz a Nova Persei légköri jelenségeiben nem vett részt. Ez egyébként a vonalak élességéből is következik, különösen ha tekintetbe vesszük, hogy a kalcium vonalai könnyen kiszélesednek.

A változás a színképben márczius végéig főleg abban állott, hogy a folytonos színkép fényessége csökkent. A fényes vonalak látszólag erősödtek, a sötét vonalak láthatósága csökkent.



198. rajz.





199. rajz.

A 199. rajzban ELLERMANN-nak a Verkes-csillagvizsgálóban készült fölvételeit látjuk a Nova Persei színeképéről. Minden leírásnál jobban mutatják a színekép változásait februárius 17.-étől márczius 28.-áig.

A hélium vonalain CAMPBELL figyelemre méltó jelenséget

figyelt meg. RUNGE és PASCHEN kutatásai szerint a hélium színképe két vonalsorozatból áll, melyeknek viszonylagos fényessége a héliumra ható nyomás szerint változik. CAMPBELL a Nova Persei színképében a héliumnak csak azokat a vonalait látta, a melyek nagy nyomásnál különösen erősek, köztük a  $D_3$  vonalat is. Azt lehetne következtetni ebből, hogy a Nova Persei-ben a hélium talán nem éppen alacsony nyomásnál világított.

A fényesség időszakos változásának sajátos jelenségével együttjárt a színképnek éppen olyan sajátos és érdekes változása. A maximum idejében végbement fényességemelkedést főleg a folytonos színkép erősödése okozta, a mi mellett, legalább márczius végéig, a legkisebb fényerősség idején eltűnt fekete vonal összetevők is újra láthatóvá váltak, ekkor a fekete összetevők, a melyek márczius végéig a legkisebb fényerősség idején eltűntek, újra látszottak. HARTMANN szerint egyidejűleg a hidrogén vonalai erősen és különböző mértékben eltolódtak, a kalcium vonalai ellenben változatlanok maradtak. PICKERING szerint a különböző jellegű színképek mindig akkor váltották fel egymást, a mikor a csillag fényessége 4-6 renddel volt egyenlő. Ugyanis e határ fölött a rendes, jellemző színkép mutatkozott, alatta pedig az a színkép, a mely a legkisebb fényerősségre jellemző volt. Az április 6-i fényességminimum idején észlelte GOTHARD először a ködvonalakat a Nova Persei színképében. Innen kezdve folytonos váltakozás közben fokozatosan ment végbe az átmenet a ködfoltok színképébe úgy, mint a Nova Aurigae esetében. A színkép változása folytán természetes, hogy a Nova Persei fényerősségének csökkenését és főleg a fényesség váltakozását színváltozások is kísérték.

Úgy látszik, hogy utóbb a Nova Persei fényessége lényegesen már nem csökkent. 1903. júliusban fényessége 11.5–12 rendű volt. PERRINE ugyanekkor színképét is vizsgálta és azt találta, hogy az ibolyában levő ködvonal lényegesen gyöngült, ellenben a fő-ködvonalak fényessége meglehetősen változatlan maradt. A folytonos színkép viszonylagos fényessége inkább erősödött, mint gyöngült.

A legérdekesebb és leginkább meglepő jelenség a Nova Persei későbbi fejlődésében mutatkozott. Majdnem minden fényes új csillagon észrevették a megfigyelők, hogy a többi csillaggal ellen-



tétben az új csillagot köd, vagy ködös fény veszi körül. Sokan kétségbevonták ennek a jelenségnek valóságát, mert tisztán optikai úton is előállhat, még pedig a vonalas színeképnek különös jellege miatt. Ugyanis ha a ködszíneképnek a zöldben levő legerősebb vonalát állítjuk be a gyújtópontba, akkor a többi vonal a tökéletlen színtelenítés miatt a csillagnak nem pontszerű, hanem köralakú képét idézi elő. Tehát tükrös távcsőben a ködös külsőnek el kellene tűnnie. Utólag persze nem lehet már eldönteni, hogy a megfigyelt jelenségek valóságosak voltak-e, vagy nem.

A Nova Persei fotografiáin is látszott fényburok, de ennek tisztán optikai okát az előbb leírt módon biztosan meg lehetett állapítani. Ellenben WOLF augusztus végén hosszú kinntartással készült fotografiákon azt találta, hogy a Nova Perseit valóban gyöngye köd burkolja, amely éppen nem egyenletes, hanem bonyolult szerkezetű és szabálytalan alakú. Majd az összes csillagászok megtelepítésére PERRINE november 11.-én a Lick-csillagvizsgáló nagy Crossley-reflektorával készített fotografiákon megállapította, hogy a Nova Perseit körülvevő ködnek néhány fényesebb pontja 6 hét alatt egy ívpercznyire délkelet felé a csillagtól eltávolodot. A Yerkes-csillagvizsgálóban és Heidelbergben készült fölvételek ezt a fölfedezést csakhamar megerősítették.

PERRINE a Nova Persei környezetében végbement jelenségeket a következő módon írja le: A fölvételeken két ködgyűrű vette körül az új csillagot, még pedig fényesebb belső gyűrű (vagy korong) és igen gyöngye külső gyűrű. Az átmérők nagysága 1902. januáriusban 15', illetve 30' volt. Mind a két gyűrű növekedőben volt, a belső gyűrű naponként átlag 1'4"-cel bővült, a külső pedig, a mint két sűrűsödéséből meg lehetett határozni, 2'8"-el. Ha visszafelé számítjuk, hogy mikor hagyta el a két gyűrű a Nova Perseit, akkor a belső gyűrűre nézve februárius 8.-át kapjuk, a külsőre pedig februárius 16—17.-ét. Tekintve, hogy a gyűrűk elmosódottsága miatt a mérések bizonytalanok, ez azt jelenti, hogy a gyűrűk majdnem egyszerre keletkeztek, még pedig akkor, mikor a Nova Persei először fölragyogott. Mind a két gyűrűnek a ködtömeg különféle csomósodásaiból következőleg határozott szerkezete van. A sűrűsödések azonban nem a sugár irányában mozognak, hanem a ködhöz viszonyított irányuk, a pozíciószögük is változik, úgy, hogy ha visszafelé követjük útjukat, nem

pontosan a Nova Perseihez jutunk. Az egyes sűrűsödések pozíciószöge nem ugyanabban a mértékben változik, sőt különféle irányú is lehet. A belső gyűrűnek és sűrűsödéseinek fényessége tetemesen csökkent, a külső gyűrűben ellenben nemcsak a sűrűsödések alakja változott, hanem fényességük is nagyobbodott.

Habár a Nova Perseit körülvevő köd rendkívül gyöngye fényű volt, a Lick-csillagvizsgálóban mégis megkísérelték, hogy a köd fényének természetét kikutassák. A fény polárosságát nem lehetett kimutatni, tehát a fény nem volt észrevehető mértékben poláros. A Lick-csillagvizsgálóban kis színszórással 34 órai kinntartással lefotografálták a ködburok legfényesebb helyének színképét. De kétségtelen és határozott következtetést ebből a fölvételből sem lehetett vonni. Az egyszerű ködszínkép mindenesetre hiányzik, csak folytonos színképét lehetett megállapítani. Erre a jelenségre utóbb még visszatérünk.

XII. táblánkon PERRINE-nek két fotografiáját találjuk a Nova Persei ködéről. Az első 1901. november 12.-én és 13.-án készült 10 óra alatt, a második 1902. januárius 31.-én és februárius 2.-án 9 óra alatt. Mind a két képen láthatjuk a gyűrűk részeit. Két, jobbra fent levő sűrűsödés helyének változását a többi csillaghoz képest könnyen föl lehet ismerni.

A Nova Persei ködében talált mozgások jelentőségét csak akkor értékelhetjük egészen, ha a látszólagos szögelmozdulásokat sebességekre számítjuk át. De ehhez ismerni kell a Nova Persei távolságát vagy parallaxisát. A parallaxist többen meghatározták. A mérés azonban nagy nehézségekkel jár, mert a színkép idővel erősen változott és ezzel együtt a légköri fénytörés miatt a fotografia súlypontja is eltolódik. Valószínűleg BERGSTRAND eredménye a legmegbízhatóbb. Szerinte a parallaxis  $0.03''$ , a mi megegyezik a harmad-negyedrendű csillagok közepes parallaxiséval. De ekkora távolságban a megfigyelt látszólagos mozgásnak igen nagy sebesség felel meg. A belső gyűrű naponként  $1.4''$ -cel mozdult el, tehát másodpercenként  $160\,000$  km-nyi sebességgel mozgott volna, a külső gyűrű pedig kétszer ekkora sebességgel. A parallaxis értékének bizonytalansága miatt ezek a számok lényegesen változhatnak. De ez nem dönti meg azt az általános eredményt, hogy akkora sebességet találtak, a melyeket a fény terjedésének sebességével ( $300\,000$  km másodpercenként) össze lehet mérni.



Térjünk most át a Nova Persei-hez fűződő elméleti fejtegetésekre. Ha a jelenség első részét tekintjük, akkor nagy hasonlóságot találunk a Nova Aurigae jelenségeihez. A különbségek a lényegesebb részekben olyanok, a milyeneket a két égítést fényességének nagy különbségéből várni lehetett. A leglényegesebb eltérés a Nova Aurigae-től a fényességnek szabályos, erős változása. A Nova Aurigae-nél ennek csak nyoma volt meg. A fényváltozás szabályossága miatt alig lehet más okra gondolni, mint a csillagnak 5 napos tengelyforgására. A hirtelen kitörés aligha terjedt ki az egész légkörre. Még ha utóbb az egész csillagot be is borította, a kitörés helye akkor is még fényesebb maradt. Ennek különösen a lehülés alkalmával kell föltűnnie. A kitörés maga igen fényes folytonos színeképet keltett, tehát a keletkezés helyén ez tovább megmarad, mint a felület többi részén. Ezért a forgás okozta időszakos változásnál a legnagyobb fényességeket a folytonos színekép erősödése szolgáltatja. A fényesség hullámainak alakváltozása is emellett a föltevés mellett szól. Mert a kitörés köre lassan csökken, tehát a legnagyobb fényességek időtartama is folyton kisebbedik a legkisebb fényességek idejéhez képest. Ez valóban így is volt.

Nem szabad elhallgatnunk, hogy azok a fizikusok, a kik a Nap szélén észlelhető jelenségeket rendellenes színszórással magyarázzák, az új csillagok elméletét is ezen az alapon állították föl. Már kifejtettük, miért nem vagyunk hívei ezen elmélet alkalmazásának a Nap jelenségeire. Éppen ezért az új csillagok ilyen elméletéhez sem járulhatunk hozzá.

Arra a fontos kérdésre kell most felelnünk, hogy mi a magyarázata a Nova Persei-t körülvevő köd jelenségeinek.

A ködtömegek megfigyelt mozgásait két, lényegesen különböző módon lehet felfogni. Vagy valóban anyagi részek mozogtak közel akkora sebességgel, mint a fény, vagy sugárzásokkal van dolgunk, a melyek az új csillagból fölvillanásakor indultak ki és vagy világításra indítják a meglevő ködtömeget, vagy ha fénysugarakról van szó, róla visszaverődnek.

Először is a mechanikai magyarázatot elemezzük. Habár az új csillagok föltűnésekor robbanásszerűen nagy nyomások keletkeztek, mégis nehéz ezeket olyan hatalmasaknak elképzelni, hogy a kilövelt tömegek a fény sebességével közel egyenlő sebes-

ségre tettek szert. Inkább azt kell föltennünk, hogy a nyomás elég volt arra, hogy a gázokat a csillagtól olyan nagy távolságra taszítsa, hogy az előálló ritkulás mellett taszító erők jelenhettek meg, hasonló módon, mint a hogyan az üstökösök elméletében kifejtettük. Kétféle ilyen erőt ismerünk, a fénynyomást és az elektromos taszítást. A két erő hatását már ismertettük. E helyütt inkább WILSING elméletével foglalkozunk, ki a Nova Persei kódében működő erő gyanánt az elektromos taszítást veszi föl. Láttuk, hogy az üstökösök csóvájának keletkezésénél is ez a valószínűbb ok. WILSING azokat az értékeket használva föl, a melyeket ZÖLLNER az üstökösök csóvájának elektromos taszításra alapuló elméletében alkalmazott, arra az eredményre jut, hogy a ködburoknak még aránylag nagy sűrűségénél is a taszításnak akkora kezdősebessége lehet, a mekkorát a Nova Persei-n megfigyeltek, ha az új csillag elektromos töltése nem nagyobb, mint a Napé volt, mikor a DONATI-féle üstökösre hatott. Ha a ködburok hidrogénből, vagy azokból a még könnyebb gázokból áll, a melyek a ködvonalakat keltik, akkor a Nova Persei-n az elektromos töltés felületi sűrűsége még kisebb lesz, talán csak törtrésze a megdörzsölt pecsétviasz felületi sűrűségének. »Elképzelhetjük, hogy a nagy nyomás alatt, de aránylag mégis kis sebességgel kitóduló gázok a világűrben csakhamar kiterjednek és így sűrűségük csökken. A csillagból kiinduló taszító erő csak akkor hat rájuk, mikor már jelentékenyen megritkultak. Ekkor csakhamar óriási sebességet kapnak, a melylyel a világűrben észrevehetően egyenletesen haladnak. A finoman eloszlott anyagnak kis fényessége a további kiterjedésnél csökken, úgy hogy végül a külső széle elhalványul, míg a mélyebb rétegekben a csillagból kiáramló tömeg egyideig még pótolja a veszteséget.«

Minden elmélet valószínűségét növeli, ha más jelenségeknél már beigazolódott, illetőleg nagyon valószínű lett. Így van az elektromos taszítás elméleténél is, ezért hajlandók lehetünk a WILSING-féle elméletet elfogadni. Az is emeli valószínűségét, hogy az a két burok, a melyet az új csillag kibocsátott, különböző sebességgel terjed. Az eltérő sebességek magyarázatára csak azt kell föltennünk, hogy a két burok különböző gázból állott. De nem hallgathatjuk el, hogy *egy* tapasztalat mégis nehézségeket okoz WILSING elméletének. A sűrűsödések ugyanis nem a sugár



irányában mozogtak, hanem észrevehetően oldalt haladtak. Mozgásuk tehát egészen olyan volt, mint a milyent az üstököscsóva részecskéinél figyeltek meg, mert ezek sem távolodnak egyenes irányban a Naptól. Itt az eltérés okát ismerjük. T. i. a részek a távozás előtt is mozogtak az üstökös pályáján olyan sebességgel, a mely a taszító mozgás sebességével legalább némileg összehasonlítható. De az új csillagon egészen mások a viszonyok, mert a haladó mozgás sebessége elenyészően csekély a taszítás okozta sebességhez képest. Csak azt a föltevést állíthatjuk föl, hogy a »robbanás« a gázokat nagy sebességgel oldalt lökte. Az igen nagy sebességek valójában másodpercenként 30 000—60 000 km-t jelentenek, tehát 10—20-szor akkorát, mint a mekkorák a legnagyobb sebességek a Nap protuberanciáiban. Mint-hogy ilyen nagy sebességek lehetőségének vizsgálatánál tudományos kutatásokra nem lehet többé hivatkozni, azért ennek a pontnak megítélése egészen függőben marad. Ha »nyugodt« Napunknak protuberanciáit összehasonlítjuk azzal a hatalmas átalakulással, a mely a Nova Persei-n kétségtelen lefolyt, akkor véleményünk szerint semmi lehetetlenség sincs ebben a 10—20-szoros sebességben.

Utoljára említjük azt a tapasztalatot, a mely leginkább szól a mechanikai magyarázat mellett: ez a fő-sűrűsödés alakjának változatlansága. Bár annyival tolódott el, a mekkora saját kiterjedése volt, mégsem látszott rajta alakváltozás. Ez pedig nagyon valószínűvé teszi, hogy anyagi test mozgott és egyúttal a legfontosabb ellenvetés a sugárzás föltevésével szemben, a melyet a következőkben tárgyalunk.

A sugárzás föltevésében azokról a sugárzásokról lehet szó, a melyek az elektromos töltésű katódból, vagy rádium-tartalmú anyagból indulnak ki és melyek az útjukba eső anyagot világitásra indítják. Eddig semmit sem tudunk arról, hogy ilyen sugarak égitestekből kiindulhatnak-e, vagy sem. De minthogy hatásuk teljesen megegyezik azzal, a melyet az optikai sugárzás és ennek visszaverődése a megfelelő ködtömegen előidézne, azért az optikai visszaverődés föltevésének ismertetésére szorítkozhatunk.

KAPTEYN és SEELIGER fölteszik, hogy az új csillag föltűnésekor kétségtelenül előálló és minden irányban kiterjedő fényhullámok, a melyek szemünket is érték, az új csillagot már előzőleg

körülvevő, bonyolult szerkezetű ködtömeg részeiről egymásután visszaverődnek. Mi tehát ezeket a részeket fokozatosan látjuk meg. A fénygyűrű elterjedését a Nova Persei körül ez az elmélet ilyen módon igen egyszerűen és nagy valószínűséggel megmagyarázza. De az a tapasztalat, hogy a fő-sűrűsödés és még egy másik gyengébb sűrűsödés is alakját nem változtatta, a sugárzás föltevése mellett csak úgy lehetséges, ha teljesen egyenletes határvonalú, ferde helyzetű ködsávokat teszünk föl. A tovahaladás alakváltozás nélkül csak így állhat elő. Ilyen ködsávok lehetségesek ugyan, de nem valószínűek. Talán még alaposabb ellenvetés az optikai elmélettel szemben az, hogy a két ködburok eltérő sebességgel halad. Helyes lehet PERRINE-nek az a megjegyzése, hogy a ködben a jelenségek mind a két föltevés értelmében folytak le.

Azt a tapasztalatot, hogy az új csillag színekpe a fényesség csökkenésekor a ködfolt színeképébe ment át, könnyen meg lehet magyarázni. A lehűlésnél az a fénygerjesztés, a mely kezdetben a színeképet keltette, a láthatatlanságig gyengül. Azután a csillag közelebbi és távolabbi környezetében lassan beállanak azok a föltételek, a melyek mellett a hidrogén és a ködnek többi gázai, a ködfoltokat jellemző vonalakat kibocsáthatják. A ködtömeg talán már előbb is megvolt a csillag körül, a mint SEELIGER fölteszi, de az is meglehet, hogy a hatalmas átalakulásnál hagyta el a csillagot. Ez a két lehetősége van a ködburok keletkezésének; egyelőre mind a kettő jogosult. A ködburokkal bizonyára valamiképpen összefüggő ködszínkép megjelenése nem hozhat döntést a két föltevés között.

Az előbbiek után világos tehát az a végső eredmény, hogy az egy esetben megfigyelt ködburok jelenségeiből még nem dönthetünk a két föltevés között, vagy esetleg köztük és más elmélet között. Még eddig minden új csillag bővítette ismereteinket, egyes kérdések tisztázására vezetett, de egyúttal új rejtélyeket is hozott. Egyike a legnehezebbeknek, de a legfontosabbnak is az, a melyet a Nova Persei fejlődésének utolsó fokán hozott. Reméljük, hogy a legközelebbi fényes új csillag ennek a kérdésnek megoldására vezet majd, hogy helyette viszont más kérdést vessen fel. Fényes új csillagot kell bevárnunk, mert a Nova Persei után feltűnt legközelebbi új csillag, a Nova Geminorum, ismereteinket nem nagyon fejlesztette.



18. A *Nova Geminorum*-ot TURNER fedezte fel 1903. márczius 24.-én fotografiai uton mint hetedrendű csillagot. Ekkor már mindenesetre túl volt legnagyobb fényességén. A színekép első fölvételei nagyon hasonlítanak a Nova Persei-ről áprilisban készült fotografiákhoz, de nem a szeptemberben készültekhez. Május végén már jól meg lehetett ismerni az átmenetet a köd színeképéhez, de a Nova Geminorum-on végzett megfigyelések a kis fényesség miatt egyáltalában nem nagyon megbízhatók. De bizonyos eltéréseket a Nova Perseitől meg lehetett állapítani. Így az ibolyán túli ködvonal igen gyenge volt.

1903. augusztusban a Nova Geminorum színeképe észrevehetően változott. A  $\lambda$  5001 hullámhosszra eső fő-ködvonal erősödött, ellenben a  $H\beta$  alig látszott.

#### HUSZONHATODIK FEJEZET.

### Eltérő csillagszíneképek.

Néhány olyan színeképet akarunk leírni, a melyet nem lehet minden további meggondolás nélkül valamelyik csoportba beosztani.

*o Ceti*. A Mira Ceti nyitja meg a változó csillagok felfedezésének sorát. Az első változó csillag, melyet felfedeztek. Fényessége nagy mértékben és szabálytalanul ingadozik. Sajátságos színeképe körülbelül a III *a* és II *a* csoportok összetétele. A III *a* csoport jellemző sávjai tisztán láthatók. Más fekete vonalak is mutatkoznak, sok közülök a Nap színeképének vonalaival egyezik. Ennyiben a színekép a hosszú periodusú változó csillagok jellemző színeképével egyezik meg. Mint különös jelenség járul azonban az előbbiekhöz az, hogy a hidrogén vonalai fényesek és aránylag nagyon erősek.

Sokan vizsgálták ezt az érdekes színeképet, legutóbb és legalaposabban STEBBINS a Lick-csillagvizsgáló nagy refraktorával készült fölvételek alapján. A fölvételek félévi időtartamra terjednek, mialatt a fényesség a 4. rendtől a 9. rendig csökkent.

A sötét vonalak közül 6 vonal biztosan a kalciumé volt, 11 a vasé, 9 a krómé és 11 a vanádiumé. A stroncium, mangán és titán jelenléte kérdéses maradt. A fényváltozás időszaka 331 nap. A csillag sebességére a látósugar irányában  $+66$  km-t

kaptak. Négy évvel előbb CAMPBELL  $+62$  km-t talált, úgy látszik tehát, hogy a sebesség nem változott, benne a fényváltozás időszaka alatt sem találtak változást. A fényes vonalak közül különösen erősek a  $H_\gamma$ ,  $H_\delta$  és  $H_\epsilon$ , a  $H_\beta$  ellenben gyenge, a  $H_\alpha$  pedig eddig nem is látszott. Ez nem nagyon feltűnő és fiziológiai okokból könnyen megmagyarázható, úgy mint a ködszínképeknél láttuk. Rendellenes a  $H_\epsilon$  viselkedése. Sokan egyáltalában nem látták, de a LICK-csillagvizsgáló erősebb fölvételein felismerhető, bár csak gyengén. Ennek magyarázata végett már CLERKE kisasszony feltette, hogy a  $H_\epsilon$  vonalat a  $\lambda 3969$  hullámhosszra eső széles és igen erős kalcium-vonal elnyelte. De akkor a világító hidrogénréteg fölött alacsonyabb hőmérsékletű kalciumgőzrétegnek kell lennie. VOGEL szerint azonban ilyen állapot csak ideiglenes lehet és úgy látszik, hogy ez valóban így van, mert a  $H_\epsilon$  vonal fényessége biztosan változik, talán teljes erősségétől majdnem az eltűnésig. Minthogy a kalciumgőznek nagy elnyelő képessége van, a jelenség tulajdonképpen nem nagyon feltűnő. A kalciumgőz kevés nyoma a  $H$  és  $K$  vonalakban már nagy hatásokat okoz a színképben.

Figyelemreméltó az a körülmény is, hogy CAMPBELL szerint a  $H_\gamma$  és  $H_\delta$  három fénymaximumból áll úgy, mint az új csillagoknál.

A Mira Ceti fényes vonalai közül STEBBINS szerint a következőknek eredetét sikerült megállapítani.

$\sigma$ Ceti	Rendes hullámhossz	Eltolódás	Elem
$\lambda 3751.2$	3750.15	$+0.0001$	$H_\alpha$
3771.52	3770.7	$+0.00082$	$H_\epsilon$
3798.76	3798.0	$+0.00076$	$H_\theta$
3836.20	3835.6	$+0.00060$	$H_\eta$
3889.91	3889.15	$+0.00076$	$H_\zeta$
3906.36	3905.66	$+0.00070$	$S_i$
3970.87	3970.18	$+0.00069$	$H_\epsilon$
4102.66	4101.89	$+0.00077$	$H_\delta$
4202.91	4202.20	$+0.00071$	$Fe$
4308.70	4308.08	$+0.00062$	$Fe$
4341.33	4340.63	$+0.00070$	$H_\gamma$
4376.78	4376.11	$+0.00067$	$Fe$
4571.82	4571.26	$+0.00056$	$Mg$
4862.34	4861.53	$+0.00088$	$H_\beta$



A táblázat kiegészítéséül meg kell jegyeznünk, hogy a széles sötét kalciumvonalak mindkét oldalán fényes kalciumvonalak vannak. De külsejük a leírás szerint nem olyan, mint a vonal kettős megfordításánál várni lehetne.

A fényes vonalakból  $+50$  km-nyi sebességet lehetett megállapítani, a sötét vonalakból pedig  $+66$  km-t. A különbséget valószínűleg nem mozgás különbsége okozza, hanem nyomáskülönbség. Ha a fényes vonalak főleg a csillag korongja felett elterülő légkörből erednek, tehát magasabb rétegekből, akkor kisebb eltolódás a kisebb nyomás miatt igen valószínű. Mint-hogy az  $\alpha$  Ceti-n, úgy látszik, nagyobb nyomások vannak, a haladó mozgásnak  $50$  km-es sebessége valószínűleg túlnagy. Az eltolódás egy részét mindenesetre a nyomás okozza.

Az a kérdés, milyen változások látszottak az  $\alpha$  Ceti színképében a fényességváltozással kapcsolatban. Ez azért fontos, mert megoldásából esetleg a fényváltozás okára lehet következtetni. Már említettük, hogy a haladó mozgás sebességében nem találtak észrevehető változást. Tehát a csillag körül keringő égitesttől előidézett elsőtítésről nem lehet szó. Ez már azért is lehetetlen, mert a fényváltozás szabálytalan menetű.

Az  $\alpha$  Ceti fényességének csökkenése főleg a folytonos színkép gyengüléséből ered. SIDGREAVES és STEBBINS egymással megegyezően azt találták, hogy a színeképnek  $\lambda 4300$  és  $\lambda 5000$  hullámhosszak közé eső része gyorsabban gyengül, mint a kék és ibolya a  $\lambda 4300$  és  $\lambda 4000$  hullámhossz között. De STEBBINS határozottan megjegyzi, hogy talán nem is a folytonos színkép változásairól van szó, hanem talán csak fényesebb sávok változásáról, melyek nagyobb számban lehetnek jelen.

A  $\lambda 4228$  hullámhossznál levő sötét kalciumvonalon (FRAUNHOFER-féle  $g$ -vonal) szintén biztosan megállapítottak változást. Ez a vonal mindig nagyon széles és erős, de szélessége nő, mikor a csillag fényerőssége csökken. Úgy látszik, hogy más fekete vonalon is előáll ez a jelenség, de biztosan nem lehetett igazolni.

200. és 201. rajzunk világos képet nyújt az  $\alpha$  Ceti színképének jellemző tulajdonságairól. Fölül a Nap színképe van, alul az  $\alpha$  Ceti-é, a melyben a sötét sávokat és a fényes hidrogén-vonalakat, továbbá a kalcium erős elnyelését  $H_{\epsilon}$ -nél jól lehet látni.

A közölt tapasztalatokból láthatjuk, hogy a Mira Ceti színeképe egyike a legérdekesebb csillagszíneképeknek. Vizsgálata a jövőben fontos eredményekre vezethet a hosszú periodusú változó csillagok természetére vonatkozólag. Egyelőre csak annyit mondhatunk, hogy a fényváltozásnak a csillag belső szerkezetében rejlik oka van. Minden további következtetés korai lenne.

A  $\beta$  Lyrae fényváltozása nagyon szabályos menetű, időszaka 12 nap 22 óra. Ezalatt a fényességnek két egyenlő nagyságú maximuma van és két különböző nagyságú minimuma. A főminimum idején a csillag 4·5-rendű, 3 nap 3 óra alatt az első maximumot éri el, ekkor 3·4-rendű, 3 nap 6 óra alatt a második minimumig csökken 3·9-rendig és végül 3 nap 3 óra alatt a második főmaximumig emelkedik. Az Algol kettőscsillag-jellegét a színeképelemzés kimutatta, tehát a  $\beta$  Lyrae fényváltozását is kétségtelenül így kell magyarázni. A lényeges eltérés csak abban van, hogy a  $\beta$  Lyrae-nél mind a két csillag fényes. A maximum idején a két csillagot egymás mellett látjuk. A minimumok alkalmával egyik csillag a másikat váltakozva elfedi. A két minimum fényesség-különbsége vagy onnan van, hogy a két csillag különböző nagyságú, vagy pedig különböző erősségű. A vonalak nagy eltolódását a  $\beta$  Lyrae színeképében tehát a legnagyobb fényességek idején várhatjuk, a mikor mind a két csillag a látósugár irányában, de ellenkezően mozog.

A  $\beta$  Lyrae színeképe kettős. Az egyik színekép az I a. csoportba tartozik, foly-

200. rajz.

201. rajz.



tonos színek fekete vonalakkal, a másik az első fölé helyezkedő fényes vonalokból áll. A fényes vonalak közül leginkább a hidrogén és hélium vonalai tűnnek fel. Mint az új csillagok színekében, itt is a fényes vonalak a sötéteknek kevésbé törékeny oldalán vannak. PICKERING már 1901-ben a színeknek sok fölvétele alapján bebizonyította, hogy a kettős vonalak távolsága változik és hogy az ingadozások a fényváltozás időszakával függnek össze. PICKERING ezeknek a méréseknek és a fényváltozásnak alapján levezette a föltevészerű kettős csillag pályáját. A pálya sugara több mint 80 millió km, a két csillag viszonylagos sebessége 480 km másodpercenként. Már VOGEL említi, hogy a vonalak részben fedik egymást, ezért a vonalak távolságára és így a sebességre kapott értékek valószínűleg túlságosan nagyok, mert hiszen az következne belőlük, hogy a rendszer tömege 140-szer akkora, mint a Napé.

PICKERING fölvételeivel egyidejűleg KEELER a Lick-csillagvizsgáló nagy refraktorán közvetlen megfigyeléseket végzett. Legfőbb eredménye az, hogy a  $\beta$  Lyrae fényességének változását főleg a folytonos színek fényességének változása okozza és hogy a fényes vonalak szélesek és elmosódtak. Így pl. a nátrium vonalaait alig lehet különválasztani. Később BELOPOLSKY igen behatóan vizsgálta a  $\beta$  Lyrae színekét. Megmérte mennyivel tolódott el a fényes  $H_{\beta}$  vonal a mesterségesen előállított vonalhoz képest. Ebből a pálya sugarát és a sebességet meg tudta határozni. A sugár e szerint 15 millió km, a sebesség 90 km. A rendszer tömege ezek alapján akkora, mint a Napé.

VOGEL 1894-ben igen sok megfigyelést dolgozott fel. A színeknek főleg ibolya és ibolyántúli részét vizsgálta. Talált ugyan határozott összefüggést a vonalak változása és a fényváltozás időszaka között, de nem olyan egyszerűt, a melyet eddig gondoltak. Különösen a  $H_{\beta}$ -vonalt változott, de úgy látszik, a fényváltozástól függetlenül jelentékenyen hosszabb időszakkal. Tehát itt is az az eset fordult elő, a mint már gyakran történt, hogy látszólag igen egyszerű összefüggések a közelebbi vizsgálatnál olyan bonyolultaknak bizonyultak, hogy az eredeti egyszerű összefüggés egészen elveszett.

VOGEL szerint általában a következő változások jellemzők:

1. A főminimum és a rákövetkező maximum idején a fényes

vonal a sötét mellett a nagyobb hullámhosszak felé tolódott el. Az első maximum idején néha a sötét vonalat a kisebb hullámhossz oldalán is fényes, nagyon keskeny vonal határolja,

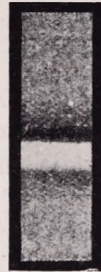
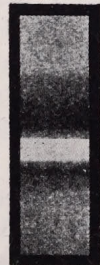
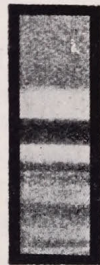
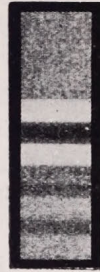
2. A második minimum alatt a fekete vonal a fényes vonal közepén van, a fényes vonal kettősnek látszik, a vörös felé eső összetevő szélesebb. A fényes vonalnak kevésbé törékeny oldalán halvány fekete vonal tűnik fel.

3. A második maximum alatt a fekete vonal vagy pontosan a fényes vonal közepén van, vagy pedig a törékenyebb oldalra eső összetevő szélesebb. Az említett vonal a fényesnek kevésbé törékeny oldalán igen tisztán látszik és jellemző a második maximum idején.

4. Az átmenet az első maximumtól a második minimumig fokozatos. Ellenben a maximumtól a főmini-



202. rajz.



203. rajz.



mumig a  $H_{\epsilon}$  vonal hirtelen változik, még pedig közvetlenül a főminimum beállta előtt.

Néha egészen mások a változások, sőt ellenkező irányba eső eltolódásokat is figyeltek meg.

202. rajzunk a  $\beta$  Lyrae színeképét mutatja, 203. rajzunk pedig a  $H_{\epsilon}$ ,  $H_{\gamma}$ , továbbá a  $\lambda 4470$  hullámhossznál levő hélium-vonal viselkedését a fényváltozás különféle szakaiban. Az előbb leírt jellemző változásokat jól lehet látni.

A következő vizsgálatok szintén BELOPSKY-tól erednek és felvilágosítást adnak a  $\beta$  Lyrae színeképének sajátos viselkedéséről. A vonalak eltolódását azért nehéz mérni, mert a fényes és sötét vonalak váltakozva egymásra esnek, ezért BELOPSKY ilyen előfordésektől mentes egyszerű vonalakat választott, a melyek tehát pontosabban mérhetők. A magnézium egyik fekete vonala a kék színben erre a célra alkalmasnak bizonyult. Az eltolódást két, egyszerű pályán mozgó égitesttel lehet magyarázni. BELOPSKY szerint a sebesség 180 km, a pálya sugara 30 millió km. Ezek alapján a rendszer tömege 27-szer akkora, mint a Napé. Értékei jól egyeznek a MYERS-ével, a ki a  $\beta$  Lyrae pályaelemeit tisztán a fényváltozásból vezette le. BELOPSKY szerint a főminimum idején az az égitest van elfedve, a melytől a sötét magnézium-vonal ered.

BELOPSKY eredményének lényege az, hogy az új mérések kettős csillag pályájára vezetnek minden bonyodalom nélkül. Más vonalaknak, főleg a hidrogén vonalainak különös viselkedése nem harmadik égitest hatásától ered, hanem vagy tisztán optikai okoktól, mert a vonalak részben fedik egymást, vagy pedig az égitestek körében végbemenő fizikai jelenségektől. Ezt még pontosabban meg kell vizsgálni. De kétségtelen, hogy a fényes vonalak viselkedését nagy nyomással kell magyaráznunk WILSING-nek az új csillagokra vonatkozó elmélete szerint.

Az  $\alpha$  *Aquilae* színeképének sajátosságát először SCHEINER ismerte fel. A színekép az I a. csoporthoz tartozik aránylag keskeny és gyengén fényes hidrogén-vonalakkal. Kívülök és a  $\lambda 4481$  hullámhossznál levő magnézium-vonalon kívül több halvány és elmosódott sáv látszik. Ezek a Nap színeképének vonalcsoportjaival esnek össze úgy, hogy a színekép olyan benyomást kelt, mint a Napnak nagyon elhalványodott színeképe. Kétféleképpen lehet ezt a sajátos viselkedést értelmezni. Lehet, hogy lehűlés és sűrűsödés

következtében a csillag már a Naphoz hasonló szerkezetű lett és pedig úgy, hogy nem egyes, különösen feltűnő fémvonalak jelentek meg fokozatosan, hanem az egész elnyelő légkör is hasonló szerkezetű, mint a Napon. Azonkívül a csillagnak még hatalmas hidrogén-légköre van. Ebben az esetben az  $\alpha$  Aquilae szép példája lenne a fokozatos átmenetnek az első színeképcsoportból a másodikba.

A második magyarázatnál azt kellene föltennünk, hogy az  $\alpha$  Aquilae spektroszkópi kettős csillag. A fényesebb égitest színekepe az I *a.* csoportba tartozik, a gyengébbé a II *a.* csoportba. A fényesebb égitest folytonos színekepe a második színekép vonalai fölé helyezkedik, tehát a vonalak nagyon gyengülnek és csak az erős vonalcsoportok látszanak. De az  $\alpha$  Aquilae sebességének eddigi mérései a látósugár irányában nem mutatják, hogy sebessége időszakosan változik.

Még harmadik módon is megkísérelték ezt a jelenséget megmagyarázni, még pedig ABNEY régebbi föltevése alapján. VOGEL szerint a vonalak azért tömörülnek vonalcsoportba, mert az  $\alpha$  Aquilae gyorsan forog (DOPPLER elve). Ekkor ellenkező peremekről jövő vonalak ellenkező irányban tolódnak el. Az  $\alpha$  Aquilae színeképeben látható elmosódottság csak úgy keletkezhet, ha az egyenlítő forgássebessége másodpercenként 27 km, tehát 13-szor nagyobb, mint a Napon. Minthogy az állócsillagok forgásáról semmit sem tudunk, az előbbi föltevés valószínűségét, vagy valószínűtlenségét nem ítéltethetjük meg. Az állócsillagokon végzett színeképelemzések nem mutattak más csillagokon ilyen forgássebességet.

$\zeta$  Puppis. A  $\zeta$  Puppis színeképeben csak a hidrogén vonalai látszanak. PICKERING benne olyan vonalsorozatot talált, a mely hasonlóan viselkedett, mint a hidrogén vonalai. PICKERING tehát azért ezeket a vonalakat is hidrogéntől származtatta. Néhány más csillag ( $\delta$ ,  $\epsilon$  Orionis) színeképeben is mutatkoztak ezek a vonalak. Hullámhosszuk a következő:

$H_{\beta}'$	$\lambda$ 5414	$H_{\zeta}'$	$\lambda$ 3924
$H_{\gamma}'$	4542	$H_{\eta}'$	3861
$H_{\delta}'$	4201	$H_{\theta}'$	3816
$H_{\epsilon}'$	4026	$H_{\iota}'$	3783

Ez a sorozat biztosan a hidrogénhez tartozik, mert ugyanott végződik, a hol a közönséges sorozat. Tehát ezt a sorozatot



melléksorozatnak kell tekintenünk. A RYDBERG-féle formulában, mint tudjuk, a hidrogén közönséges sorozatát akkor kapjuk, ha  $\mu = 1$ , az új PICKERING-féle sorozatot pedig akkor, ha  $\mu = 0.5$ . A két sorozat között tehát igen egyszerű összefüggés van: az egyik sorozat vonalai mindenütt középen vannak a másik sorozat két vonala között.

A RYDBERG-féle egyenlet szerint a fő- és melléksorozatok egyszerűen összefüggnek úgy, hogy két melléksorozat ismerete után a fősorozat vonalait kiszámíthatjuk. E szerint a hidrogén fősorozatában a vonalak hullámhosszának a következőknek kellene lenniök:  $\lambda$  4688, 2735, 2387, 2254 és 2188. Az egész fősorozat tehát az első vonal kivételével olyan messze van az ibolyában, hogy lehetetlen megfigyelni. De PICKERING a  $\zeta$  Puppis és néhány más csillag fényes vonalú színekében a  $\lambda$  4688 hullámhossznál olyan vonalat talált, a mely fényben jóval erősebb a többi vonalnál, tehát kétségtelenül a hidrogén fősorozatának első vonala.

A kísérletileg előállítható hidrogén-színekben sem a második melléksorozat, sem az első fősorozat vonalai nem láthatók. Lehet, hogy csak igen magas hőmérsékleten jelennek meg.

## HUSZONHETEDIK FEJEZET.

### Fotométriai eredmények az állócsillagokról.

Az állócsillagok fényességének nagyságrend szerint való beosztása visszavezethető azon ókori megfigyelőkre, kik az első csillagkatalógus adatait szolgáltatták, mely PTOLEMAIOSZ-nak »Almagest«-jében Kr. u. 138-ban látott napvilágot. Maguk a megfigyelések sokkal régebben történtek, a mennyiben HIPPARCHOS (Kr. e. 150.), sőt EUDOXUS (Kr. e. 366.) idejére vezethetők vissza. A legfényesebb csillagokat elsőrendűeknek, a leggyöngébb fényűeket pedig, melyeket szabad szemmel még éppen ki lehet venni, hatodrendűeknek nevezték. A többieket e két határ közé sorozták s csak arra törekedtek, hogy a fényességkülönbségeket meglehetősen egyenletesen osszák el az első és hatodik nagyságrend között. Ez a törekvés a régi megfigyelőknél mindenesetre nem sikerült a legjobban; náluk a fényesebb csillagoknál a nagyságrendek

viszonyai nagyobbak, mint a gyöngé fényűeknél. Habár a pszichofizikai alaptörvényt (lásd 212. lap), mely szerint a nagyságrendek között nem a fényességkülönbségek, hanem a fényességek viszonyai, vagyis azok logaritmusainak különbségei állandók, nem ismerték, öntudatlanul mégis sejtették és követték.

MÜLLER egészen jogosan csodálkozik azon, hogy PTOLEMAIOSZ idejétől a mult század közepéig — mondhatni — egyetlen lépéssel sem jutottak közelebb az állócsillagok fényességének szabatosabb meghatározásához. AL-SÛFI perzsa csillagász (903—986) katalógusa ugyan valamivel több csillagot tartalmaz és az egyes fényességbecslések is kissé pontosabban vannak meg benne; nagyjában mégis megtartja a PTOLEMAIOSZ-féle nagyságrendbeosztást. A két HERSCHEL (W. és J. HERSCHEL) fényességbecslései lényegesen pontosabbak, az adatok azonban oly alakban vannak megadva, hogy előbb át kellene dolgozni, ha a gyakorlatban használni akarnók őket.

1843-ban adta ki ARGELANDER, »Uranometria Nova« című munkáját, mely az összes Közép-Európában szabad szemmel látható csillagokat tartalmazza, számszerint 3256-ot. A hat nagyságrend megtartása mellett alosztályokat vezet be, melyek mintegy  $\frac{1}{3}$  nagyságrendnek akarnak megfelelni, amit azonban a valóságban még sem érnek el. A fényesebb osztályok ugyanis még ARGELANDER-nál is erősebbek, mint a gyöngéfényűek. Ugyanezt mondhatjuk HEIS-nek 1872-ben megjelent »Atlas coelestis novus«-áról, mely 5421 csillagot foglal magában, kiterjeszkedve a valamivel gyöngébb fényűekre is.

Minthogy a csillagászati obszervatóriumok legnagyobb része a Föld északi féltekéjén van, azért a déli félgömb csillagjaival kissé mostohábban bántak el. A fényesebb csillagokra nézve azonban éppen állításunk ellenkezőjét mutatja GOULD »Uranometria Argentina«-ja, mely a déli félgömb csillagjait, egészen  $10^0$  északi deklinációig foglalja magában. A 7756 csillagot számláló katalógus egészen a  $7.0$  nagyságrendig terjeszkedik ki és adatai sokkalta pontosabbak, mint az eddig említett műveké.

A gyengébb fényű csillagok fényességbecslései csak távcső segítségével lehetségesek; ezzel a kérdéssel pedig inkább csak mellékcél gyanánt foglalkoztak a pozíciómeghatározások mellett. De az a törekvés mindig megvolt, hogy a fényesebb csillagoknál



használt fényességközöket ezeknél is folytatólagosan használják. Amíg mindez csupán fényességbecsléseken alapult, nem igen lehetett a gyengébbfényű csillagoknál pontosan meghatározott nagyságrendről beszélni, és bizony meg kell vallanunk, hogy még ma is meglehetősen nagy önkény uralkodik a gyöngfényű csillagok nagyságrendjének megítélésében. E tekintetben nincs még végleges megállapodás. Németországban kizárólag a STRUVE-, vagy azzal majdnem megegyező ARGELANDER-féle fényességskálát használják, míg Angliában, Franciaországban és más országokban még mindig nagy elterjedtségnek örvend a HERSCHEL-féle. Az újabb fotométriai vizsgálatok alapján kétségtelen, hogy az ARGELANDER-féle skála jobban egyezik meg a PTOLEMAIOSZ-félével, mint HERSCHEL beosztása, minthogy ez utóbbinál a gyöngfényű csillagok nagyságrend-közei túl kicsinyek. Míg a hatodik nagyságrendnél a STRUVE-ARGELANDER skála közel megegyezik a HERSCHEL-félével, addig a 20. HERSCHEL-féle nagyságrend csak a 12. ARGELANDER-félének felel meg.

Nagyon messzire vezetne, ha fel akarnók sorolni az összes meridián-katalógusokat, melyekben a csillagok fényességbecslései is megvannak. Azért csak azokra a nagy munkákra terjeszkedünk ki, melyekben a csillagpozíciók aránylag csak durván vannak megadva, s a melyekben a fényességbecsléseknek legalább is épp olyan fontosság jutott.

Elsősorban a nagy bonni katalógust (Bonner Durchmusterung) említjük, melyet ARGELANDER tervei szerint SCHÖNFELD és KRÜGER végeztek. Az első rész, az északi félteke katalógusa egészen  $-2^{\circ}$  déli deklinációig közel 315 000 csillagra terjeszkedik ki  $9.5$ -re becsült nagyságrendig. A déli félteke katalógusa, melyet SCHÖNFELD egymagában folytatott,  $-1^{\circ}$ -tól  $-23^{\circ}$  déli deklinációig terjed és mintegy 134 000 csillagot foglal magában körülbelül a 10. nagyságrendig. Mindkét bonni katalógusban a nagyságrendek tizedekben vannak megadva, ez azonban korántsem jelenti, hogy a megfigyelések egy tizedre pontosak, bár minden adatát legalább két megfigyelésből merítették. A valószínű hiba mintegy  $0.2$  nagyságrendre rúg, és így nem is szabad csodálkoznunk, ha az adatokban bizony olykor egész egy nagyságrendnyi hibák is előfordulnak, sőt néha még ennél is nagyobbak. Bár a pontosság nem ér el magasabb fokot, a bonni munkálatokat mégis

a legalapvetőbbeknek tekinthetjük ezen a téren. Néhány évtized óta, az asztrofotografia föllendülésével kapcsolatban, fotografiai átkutatókat is végeztek, melyeknél a helyzet-meghatározások mellett fényességbecslésekre is kiterjeszkedtek. A 17. fejezetben figyelmeztettünk már arra a különbségre, mely az egyszerű optikai és a fotografiai nagyságrend meghatározások között fönnáll: a fotografiai módszernél a lemezen a csillagok korongszerű képei-nek átmérőjét szoktuk alapul venni. Az egyes eseteket tekintve, a pontosság itt sem nagyobb, mint az optikai módszernél; ily tömeges átkutatói munkálatoknál azonban megvan az a nagy előnyünk, hogy a látómezőben megadhatjuk egy bizonyos nagyságrendnek megfelelő korong átmérőjének hosszát, melyet az egész megfigyelés tartama alatt szem előtt tarthatunk és így kisebb szerep jut az emberi emlékezőtehetségnek. Erre különben később még vissza fogunk térni.

Az első ilyen nagyszabású fotografiai munkát a »Cape Photographic Durchmusterung«, mely a déli félgömb csillagait foglalja magában — $18^{\circ}$  déli deklinációig. A fölvételek a Jóreménységfokán levő csillagászati obszervatóriumban készültek. A kiméréseket és számításokat KAPTEYN végezte. A nagyságrendek igen jelentékeny pontossággal vannak megadva.

Az összes eddigi égi katalógusok között a legterjedelmesebb és legtöbbet ígérő a még ma is munkában levő »Fotografiai csillagtérkép«, mely a csillagok helyzetadatainak pontosságában vetekedhetik a legjobb meridiánkatalógusokkal. Programja az egész éggömböt fölöleli. Zónák szerint elosztva, 16 csillagászati obszervatórium dolgozik rajta. Kiterjeszkedik a 11. nagyságrendig az összes csillagok pozícióira és fényességbecsléseire. Ezek száma pedig néhány millióra rúg. A résztvevő obszervatóriumok közül egyesek (köztük a párisi, potsdami, helsingforsi, algeri, toulousei, jóreménységfoki stb.) a katalógus tekintélyes részét már közölték is, de az egész nagy nemzetközi munka elkészültének határ-ideje még bizonytalan.

Az éggömb átkutatói munkálatok helyzet- és nagyságrend adatainak legfőbb gyakorlati értéke abban rejlik, hogy általuk az állócsillagok átlagos távolságaira és térbeli elosztására nézve feleletet kaphatunk. E fölötte érdekes vizsgálatok már nem tartoznak az asztrofizika keretébe. Az asztrofizika inkább csak azokkal



az idevágó speciális vizsgálatokkal foglalkozik, melyek az említett nagy csillagkatalógusok anyagát a nagyságrendadatokra nézve egyöntetűvé tenni törekszenek, hogy a végczélt — az állócsillagok térbeli eloszlásának kérdését — mennél jobban és mennél exaktabb alapokon tudjuk segítségükkel eldönteni. A nagyságrendadatok egyöntetűsége és pontossága fölött úgy mondhatunk ítéletet, ha különböző katalógusok közösen előforduló csillagainak adatait hasonlítjuk össze. Ha a közös csillagok száma igen nagy, akkor a kisebb-nagyobb véletlen eltérések a középértékek megállapítása folytán nagyjában eltűnnek. Ellenben az állandó és a rendszeresen közreműködő hibaforrások kiderülnek és így azokat az egész anyag földolgozásánál számításba vehetjük.

Első példaként azokat az eredményeket soroljuk fel, melyeket a nagyságrendadatokra nézve SCHEINER vezetett le a déli bonni éggömbátkutatás és néhány más, ugyanazt az égi tájat felölelő meridián katalógus összehasonlításából. E katalógusok: a BESSEL-, ARGELANDER-, LALANDE-, SCHJELLERUP- és GOULD-félék. A szóban forgó csillagok száma mintegy 34 500.

Meg lehetett állapítani, hogy a bonni déli észlelések és a BESSEL, ARGELANDER, SCHJELLERUP-féle katalógusok közötti rendszeres eltérések, az ég különböző tájain nem egyformák, hanem a tejúthoz viszonyított helyzettől, másszóval a csillagok eloszlásának sűrűségétől függnék és pedig oly módon, hogy a csillagdús vidékeken a bonni fényességadatok túl gyöngék a meridián katalógusok fényességadataihoz képest. A LALANDE megfigyeléseivel való összehasonlításnál nem veszünk észre ilyen eltéréseket. A LALANDE-féle megfigyelések lényegesen különböznek más meridián-megfigyelésektől abban, hogy csekély nagyítás és nagy látómező használata mellett történtek, éppúgy, mint a déli éggömb átkutatása. A csillagok nagyobb sűrűsége az erősen nagyító meridián-műszereknél főleg csak abban nyilvánul, hogy a megfigyelések gyorsabb egymásutánban következnek. Gyengébb nagyításnál ezenkívül még a látómezőben egyidejűleg látható csillagok száma is nagyobb. E két egymástól különböző megfigyelésmódszer közös vonása az, hogy a csillagok sűrűbb eloszlása mellett a megfigyelések egymásutánja gyorsabb menetet vesz fel; különbség csak az egyidejűleg látott csillagok számában van. Ez a szám pedig nagyságának arányában az észlelőt meg-

tevesztheti, arra bírhatja, hogy a csillagokat általában gyöngébb fényűeknek tartja, mint a milyenek a valóságban. Ezek alapján azt lehetett várni, hogy hasonló jelenség mutatkozik minden más katalógusnál is, melynek összeállításánál szintén gyöngé nagyítást használtak. Ezt valóban tapasztalták is.

A Cape Photographic Durchmusterung összehasonlítása a bonni déli katalógussal és a GOULD-féle zónákkal, KAPTEYN szerint a következő eredményekre vezetett: 1. A csillageloszlás sűrűségének változása az ég különböző tájain, a mint az a lemezeken végzett számlálások alapján megállapíthatták, lényegesen eltér SCHÖNFELD és GOULD közvetlen megfigyeléseinek eredményeitől. Egyes helyeken a fotográfia mintegy háromszorannyi csillagról számol be, mint SCHÖNFELD megfigyelései ugyanarról a területről. Más helyeken meg a SCHÖNFELD-féle katalógus a gazdagabb, úgy hogy körülbelül kétszerannyi csillagot tartalmazna, mint a fotográfiai fölvétel, ha a csillagokban szegény területekről nem készítettek volna ismételt fölvételeket nagyobb kinntartási idő mellett. Hasonló eredmény mutatkozik a GOULD katalógussal való összehasonlításnál.

2. A csillagok számában való eltéréseken kívül azt találjuk, hogy az ég különböző tájain különböző fényességű csillagok a lemezeken egyforma nagyságú korongocskáknak látszanak, vagyis fotográfiai fényességük egyforma.

3. A direkt és fotográfiai fényesség közötti eltérés részint meteorológiai okokból, részint a fotografus-lemezek érzékenységeinek különbözőségeiből ered. De legfőképpen a csillagoknak a tejúthoz viszonyított helyzetétől függ, még pedig oly módon, hogy a galaktikus szélesség minden egyes fokára 0.01 nagyságrendnyi eltérés jut.

Ugyanezt a jelenséget SCHEINER is kimutatta a potsdami fotográfiai csillagtérkép és a bonni északi katalógus összehasonlításánál. Azt találta, hogy a csillagok eloszlási sűrűségének növekedése a tejút felé a potsdami fölvételeknél 3.6-szer akkora, mint a bonni katalógusban. A nagyságrendbecslések is egészen megfelelnek e jelenségnek, a mennyiben a fényességkülönbség a csillagtérkép és a bonni északi katalógus között a csillagokban leggazdagabb és legszegényebb tájakban 0.6 és 0.5 nagyságrend között van, oly értelemben, hogy a csillagokban gazdag részekben



a fényesség a bonni munkálatoknál ekkora értékkel gyöngébbnek van fölvéve, mint a csillagokban szegény helyeken.

KAPTEYN úgy véli, hogy az optikai és fotografiai nagyságrendek közötti különbségek lényegükben reálisak és arra a körülményre vezethetők vissza, hogy az ugyanazon színképosztályba tartozó csillagok közül a tejútban fekvők általában kékebb színűek, mint a többiek. A KAPTEYN-féle kifejezés, mely szerint valamely csillag kékebb egy másiknál, voltaképpen azt mondja, hogy a színkép erősen törő (kék és ibolya) részének a gyöngébben törő vörös részhez való intenzitás viszonya egyik csillagnál nagyobb, másiknál kisebb. Ha ez a körülmény nem a színképtípus megváltozásától származik, tehát nem a vonalak különféle helyeken való megjelenésétől, akkor már csak két magyarázatunk marad. Elsősorban lehetséges, hogy e csillagoknál általános elnyelés van a kék és ibolya részekben, mely azonban kisebb mértékben mutatkozik a tejúthoz közel fekvő csillagoknál, mint a távolabb fekvőknél. Azonban eddig nem tapasztaltak ilyen általános elnyelést a csillagoknál, különösen nem az első színképtípushoz tartozó túlnyomó számú csillagoknál. Másodszorban úgy is magyarázhatnók a szóbanforgó sajátságot, hogy a hőmérsékleti különbségek következtében különböző emisszióval van dolgunk. Ez pedig igen szépen összevág a már ismeretes ténnyel, hogy a tejútban az I. osztály csillagai inkább vannak túlsúlyban, mint a csillagokban szegény tájakon.

Ma már nem lehet kétséges, hogy »a KAPTEYN-féle jelenség«, főleg a már említett fiziológiai okokra vezetendő vissza, melyek az optikai nagyságrendbecsléseknél állanak elő. Hiszen egész természetes, hogy csillagdús területnél a csillagok nagy száma mintegy izgatja az észlelőt és ezért kihagyja a gyöngébb fényűeket; és még ennél is világosabb, hogy egészen gyöngé fényűeket is tekintetbe vesz a csillagokban szegény helyeken, hol a megfigyelések lassabban követik egymást.

A bonni katalógus csillagai közül csak ritkán hiányzik egyik-másik a fotografiai csillagtérkép sűrűbb mezőiben, mert ez utóbbinál meglehetősen pontosan be tudták tartani a 9.5 nagyságrendhatárt. A csillagokban szegény helyeken azonban sok bonni csillag hiányzik a lemezeken. A későbbi vizsgálat számos esetben kimutatta, hogy a bonni északi átkutatásnál közel 11. nagyság-

rendű csillagokat is mint 9·5 rendűeket vettek föl. Egyáltalán nem szabad lekicsinyleni azt a hatást, melyet a nagyságbecslések aránylag gyöngé változásai a megfigyelt csillagok számára gyakorolnak. Így pl. a SCHEINER-től talált 0·3-nyi nagyságrendköz, — a mennyivel az átkutatás gazdag mezőinek csillagai általában gyengébb fényűeknek vannak becsülve a szegényebb mezők csillagaival szemben, — a csillagok számának körülbelül felét jelenti, tehát rendkívül szembe ötlene.

Mielőtt áttérnénk azon fotométriái katalógusok tárgyalására, melyek valóságos fotografiai méréseken alapszanak és nemcsak pusztá becsléseken, néhány fontosabb eltérést kell behatóbban megvilágítanunk, mely az optikai és fotografiai úton végzett becslések, illetve mérések között fönnáll.

Az optikai meghatározásoknak alapul szolgáló és a régi PTOLEMAIOSZ-féle rendszerhez csatlakozó nagyságrendskála úgy van megfogalmazva, hogy egy nagyságrendnyi köznek 2·5 fényességviszony felel meg. Ez azt jelenti, hogy minden következő nagyságrend csillagja 2 és félszer gyöngébb, mint a megelőző nagyságrendbelié. Ha ezt intenzitás-logaritmusokkal akarók kifejezni, akkor minden egymástól egy egész nagyságrendben különböző két csillag között 0·4 különbséget látunk ( $\lg 2·5 = 0·398$ ; lásd a 17. fejezetet).

Fotografiai úton végzett fényességhatározásoknál mindenestre arra kell törekednünk, hogy optikailag már pontosan meghatározott csillagok fölhasználásával egyforma közepes intervallumokat érjünk el és hogy a két skála legalább egy helyen pontosan egyezzek. E követelménynek csak úgy lehet szigorúan eleget tenni, ha csupán a fehér csillagokra, tehát az I. színképtípusra szorítkozunk. Ezen csillagoknál a színkép kék és ibolya része, mely az érzékeny lemezre nézve irányadó, nem szenved lényegesen nagyobb elnyeletést, mint a színkép kevésbé fénytörő és főleg szemünkre ható részei.

A II. színképosztály csillagainál az elnyeletés a színkép egész hosszában jelentkezik. Az ilyen csillag szemünkre nézve is gyöngébb fényű, mint a milyennek máskülönben ugyanazon körülmények között látszanék — ugyanazon távolság és valódi nagyság mellett —, ha az első színképosztályhoz tartoznék. A fényesség csökkenése azonban a kék és ibolyában jelentékenyen nagyobb,



mint a vörös és sárgában (az elnyelés és kisebb hőmérséklet miatt) és ezért a fotografiai intenzitás is tetemesen gyöngébb, mint az optikai. A III. színképosztálynál ez a jelenség még sokkal erősebb mértékben mutatkozik, a mennyiben e csillagoknál a sugárzás a  $G$  vonalon túl teljesen megszűnik.

Az optikai és fotografiai fényesség közötti különbség a második és harmadik színképosztály csillagainál tehát igen jelentékeny. SCHEINER szerint a második osztálynál mintegy 1·5—2·0 nagyságrendig nő, a III. osztálynál pedig már legalább 2·5 nagyságrendet ér el, abban az értelemben, hogy a fotografiai fényesség a kisebbik. Ha tehát az optikai és a fotografiai úton mért fényességek között kapcsolatot akarunk létesíteni, akkor elengedhetetlen követelmény a színképtípusok pontos ismerete. A gyöngébb fényű csillagoknál ezt a típust nem lehet megállapítani és ezért általában a kétféle nagyságrendskálát nem tudjuk egymásra vonatkoztatni, hanem a kétféle úton kapott megfigyelési adatokat egymástól függetlenül kell fölhasználni.

Az optikai és fotografiai nagyságrend közötti eltérések első sorban azoknál a vizsgálatoknál jelentkeznek, melyekben vonatkozásba hozzuk a csillagok fényességét azok távolságával, illetve parallaxisával. Különösen áll ez azokra a már említett vizsgálatokra nézve, melyek a csillagok eloszlása és fényessége alapján csillagrendszerünk alkatát teszik kutatás tárgyává. Ezen körülményre úgy látszik eddig kevés figyelmet fordítottak. Optikai nagyságrendmeghatározásnál is azt találjuk, hogy egyenlő tömeg mellett valamely második, vagy harmadik színképosztályba tartozó csillag kevesebb fényt lövel ki magából, mint egy elsőosztályba tartozó csillag. Az eddig talált összefüggések nagyságrend és parallaxis között tehát nem tekinthetők egyöntetűeknek. S minthogy a csillagoknak körülbelül  $\frac{1}{3}$ -része a második és harmadik osztályba tartozik, ezért e harmadrész parallaxisát minden bizonyynyal túl kicsinynek vették. Ez a téves arány még tovább fokozódik azoknál a csillagoknál, melyeknek nagyságrendadatát fotografiai úton állapították meg. E csillagok egyharmadának intenzitása négyszerese kisebb, mint az optikailag meghatározott intenzitás-adat.

Az optikaival nem azonos fotografiai fényességskála használatából eredő kényelmetlenségek és egyéb hátrányok elkerülésére ajánlották az úgynevezett orthochromatikus lemezek alkalmazását,

Már a fotografiai objektívek tárgyalásánál figyelmeztettünk arra, hogy milyen előnyös ezen lemezek használata úgy az abszolút achromatikus reflektoroknál, mint a többlencsés objektíveknél, melyek majdnem minden sugarat egyesítenek. Azonban a fotografiai sugarak számára csiszolt távcsőobjektíveknél alkalmazásuk lehetetlen, minthogy itt az igen erős vörös és sárga színes aberációs körök is nyomot hagynak a lemezekben. De ezt nem tekintve a fotométria nem valami sokat nyerne alkalmazásukkal, mivel a lemezek egyáltalán nem »*orthochromatikusak*«. Eddig még nem találtak oly fényérzékeny anyagot, melynek segítségével lemezek az emberi szem érzékenységét némileg meg lehetett volna közelíteni. Az érzékenységnek kisebb-nagyobb mértékét mindig csak a színek bizonyos korlátozott részére sikerült elérni és ezenkívül az érzékenység maximuma a színek kék és ibolya részeire esik, ellentétben az emberi szemmel.

A művészi fotografálásnál a szem érzékenységének megközelítését sárga üveg közbeiktatásával érik el, mely tudvalevőleg a kék és ibolya sugarak egy részét elnyeli. Ezáltal azonban az általános fényességnek jelentékeny vesztesége áll elő, és így alkalmazása az égen csak fényesebb csillagokra vonatkozó speciális feladatoknál volna lehetséges. De ezzel sem érnénk el sokat, mivel a két skála így sem válnék azonossá, csupán csak közelebb jutna egymáshoz. Az eltérések kisebbek volnának, de el nem tűnnének.

Áttérünk azon csillagkatalógusok tárgyalására, melyek igazi fotométriai mérések alapján kizárólag fényesség meghatározások céljából készítek.

Az első ilyen katalógus a SEIDEL-féle, melyben 208 fényesebb csillagot találunk. A STEINHEIL-féle prizma-fotométer segítségével (l. a 242. lapon) készült 1852—1860. években.

Valamivel később következett a ZÖLLNER katalógusa, a róla elnevezett fotométerrel végzett megfigyelések alapján. Mintegy 200 csillagot felölelő anyaga nem annyira katalógus céljaira, mint inkább a fotométer kipróbálására szolgált.

PEIRCE katalógusa 495 csillagot foglal magában. Nagyságrendjük a ZÖLLNER-féle fotométerrel van meghatározva. Deklinációik  $+40^{\circ}$  és  $+50^{\circ}$  közé esnek. E katalógus készítésének az volt a célja, hogy a megfigyelőknek különböző zenittávolságban



levő összehasonlító csillagok álljanak rendelkezésükre egyéb fotométeriai mérések céljaira.

Valamivel később WOLFF TH. két, együttesen 1100 csillagot tartalmazó katalógust adott ki, bennük a csillagok a 6. nagyságrendig terjednek. Úgy látszik azonban, hogy az adatokban nagy rendszertani hibák vannak.

Nagyobbszabású fényességekatalógusokat a XIX. század végén kezdenek összeállítani. Az első PICKERING-től származik (Harvard Photometry) és 4260 csillagot foglal magában az északi pólustól  $30^{\circ}$  déli deklinációig. A katalógus egészen a 6. nagyságrendig terjed, helyenkint azon túl is. A megfigyeléseket meridiánfotométerrel végezték, a mérések pontossága azonban nem valami nagy.

Sokkal nagyobb terjedelmű katalógust tett utóbb közzé PICKERING »Photometric Revision of the Durchmusterung« címen. Ez 9<sup>o</sup> nagyságrendig 17 000 csillagot foglal magában, melyek meghatározott keskeny sávokban a bonni átkutatás területén vannak elosztva. Ennek hasonló folytatása a déli félgömbre szintén PICKERING-től származik. Ez a katalógus közel 8000 csillagot ölel föl.

PRITCHARD »Uranometria nova Oxoniensis«-e (PLUMMER és JENKINS megfigyelései) 2784 fényesebb csillagot foglal magában az északi pólustól  $10^{\circ}$  déli deklinációig. A megfigyeléseket ekfotométerrel végezték. A pontosság nem valami jelentékeny.

Nem rég jelent meg a legterjedelmesebb és legpontosabb fényességekatalógus, minden jövőbeli ilyen katalógus alapja: a potsdami fotométeriai katalógus. Az északi félgömb összes csillagait tartalmazza egészen a 7.5 nagyságrendig, számszerint 14200-at. Összeállítói MÜLLER és KEMPF. A ZÖLLNER-féle fotométerrel végzett megfigyelések pontossága a legnagyobb, a mit eddig ily nagyobbszabású vizsgálatoknál el lehetett érni. A katalógusban közölt értékek valószínű hibája csak  $\pm 0.04$  nagyságrend. Legfőbb értéke, hogy a rendszeres hibák majdnem teljesen ki vannak küszöbölve. Ezt úgy érték el, hogy az északi félgömbön 144 összehasonlító csillagot választottak ki célszerűen, fényességüket számos egymáshoz kapcsolt megfigyeléssel megmérték és a többi csillag fényességének meghatározásánál alapul vették.

A mint már említettük, hosszas szünet után a múlt század közepén gyarapodtak fotométeriai ismereteink nagyobb mértékben.

Még megjegyezzük, hogy a felsorolt nagyobb katalógusokon kívül számos speciális katalógus is jelent meg az ég egyes részeiről, különösen feltűnőbb csillagcsoportokról, pl. a Plejádokról. Az ily katalógusok adatai rendszerint pontosabbak, mint a nagyszabású, általános katalógusok adatai.

*A változó csillagok.* A fotométriái mérések legtágabb érdeköre a változó csillagokra vonatkozik. E csillagok fényessége észrevehetően ingadozik. Egyes ritka kivétellel a becslések a már említett ARGELANDER-féle fokbecslő módszerrel történtek. Főelőnye e módszernek a nagy belső, ú. n. relatív pontosság mellett az egyszerűség és a gyorsaság. Viszont megvan az a nagy hátránya, hogy sokszor nem tudjuk magunkat egyéni hatásoktól, mint pl. előítélettől, elfogultságtól függetleníteni.

Az eddig határozottan változónak fölismert csillagok száma 1902-ig 600-on felül van. Az eldöntetlenek száma is igen jelentékeny. Néhány esztendő óta azonban, mióta a fotografálást alkalmazták az ég egyes speciális részeire, különösen csillagthalmazokra mintegy 2000-el gyarapodott számuk. Közülök azonban mindenesetre sok a kétes is. A többi határozottan fölismerhetőnél pedig a fényváltozás mineműségével nem vagyunk tisztában. Így az utóbbiak nagyon is kétes nyereséget jelentenek. Azt, hogy mekkora a változó csillagok száma bizonyos nagyságrendig, manapság még közelítőleg sem lehet megmondani, mert fölfedezésük többnyire véletlenül történik. Számos csillagnál bizonyossággal csak a legritkább esetekben ismerhető föl a fényesség ingadozása, mert  $1\frac{1}{2}$  nagyságrenden alul marad.

A változó csillagok némi áttekinthetéséhez szükséges, hogy bizonyos szempontból osztályozzuk őket. Legjobb, ha itt a fényességváltozások okaira vagyunk tekintettel. Lehető egyszerűsége fogunk törekedni és arra az osztályozási módszerre fogunk támaszkodni, melyet PICKERING javasolt.

*I. osztály.* Az új csillagok, melyeket hosszú ideig tartó láthatatlanság vagy gyöngfényűség után majdnem hirtelen bekövetkező fölvilanás szokott jellemezni. A fölvilanás után lassú és szabálytalanul történő fényességcsökkenés következik, gyakran a csillag végleges eltűnéseig. Még nem lehetett megállapítani, hogy



csak egyszeri vagy időszakos jelenséggel van-e itt dolgunk. Annyi bizonyos, hogy a periodus tartamának igen hosszúnak kellene lenni.

(Az új csillagokat az előző fejezetben részletesen tárgyaltuk.)

*II. osztály.* A legtöbbnyire vörös fényű változó csillagok, hosszabb és sohasem egészen szabályos periodussal.

*II a.* Hosszabb periodus; a fényességnövekedés többnyire gyorsabb, mint a fényességcsökkenés. A változó tartamú periodus többtagú interpolációs formulával némileg előállítható. A fényesség-ingadozások rendszerint igen jelentékenyek.

*II b.* Egészen szabálytalan, többnyire csekély fényváltozás.

*III. osztály.* Változó csillagok, melyeknél az igen szabályosan végbemenő fényesség-ingadozás csak egész rövid ideig, legfeljebb néhány napig tart. A periodus tartamában előálló változások csekélyek és lassúak. A csillagok színe többnyire fehér vagy sárgás. (I. és II. színképtípus.)

*III a.* A fényességkülönbségek kicsinyek; 0.8 nagyságrendet valószínűleg nem lépnek túl. A fényes főmaximumok gyöngébb mellékmaximumokkal váltakoznak. Utóbbiak azonban az észrevehetetlenségig csökkenhetnek. (Lyra-típus.)

*III b.* A fényességmaximum a periodus legnagyobb részét tölti be egyenletes fényességgel. A nagy szabályossággal jelentkező minimumok aránylag gyors lefolyásúak.

Természetes, hogy mint minden egyszerű osztályozásnál, itt is elő fog fordulni oly csillag, melynél az osztály bizonyossággal el nem dönthető. Ily csillag inkább átmenet egyes osztályok között.

A változó csillagoknak eloszlása osztályok szerint igen egyenlőtlen. Legnagyobb szám jut a II a. osztályra. 310 változó csillag közül, melyeknél a jól ismert periodus az osztályozást megengedi, 232 jut a II a. osztályra, 33 a II b.-re, 32 a III a.-ra és 13 a III b.-re. A rövid periodusú csillagokról elég nehéz eldönteni, vajjon a II a. vagy a III a. osztályba tartoznak-e, úgy, hogy e tekintetben nagy eltolódások lehetségesek.

Számos vizsgálatot végeztek már arra nézve, hogy a változó csillagok egyes jellemző tulajdonságait nem lehetne-e a csillag helyzetével, a tejúthoz való fekvésével stb. statisztikailag kapcsolatba hozni? Biztos eredményeket e téren ezideig még nem

érték el, és tekintve a változók kis számát, ilyen eredmények egyelőre nem is várhatók. Egyedül csak azt lehet megállapítani, hogy a II a. osztályú változócsillagok periodustartama és száma között összefüggés van, melyet az alábbi táblázat szemléltet:

Periodustartam	Szám
20 nap	7
21— 50 »	7
51—100 »	7
101—150 »	9
151—200 »	18
201—250 »	30
251—300 »	39
301—350 »	45
351—400 »	43
401—450 »	18
451—500 »	6
> 500 »	3

Aprólékos részleteket nem tekintve, határozott maximumot látunk a 350 napos periodusnál, a mi körülbelül egy esztendő. A növekedés a maximumig lassú, utána a csökkenés rohamos. Ez a körülmény annyiban figyelemreméltó, mert az egy-esztendőös periodus igen kedvezőtlen a változók fölfedezésére nézve, különösen az égi egyenlítőhöz közel eső csillagoknál, melyek az évnek aránylag csak rövidebb felében figyelhetők meg. A jelenség realitása tehát nem szenved kétséget.

Mielőtt a különböző osztályokba tartozó változó csillagoknak közelebbi leírására térnénk át, néhány szóval ki kell terjeszkenünk a nevükre és jelölésükre. A fényesebbek, melyeknek változóságuk fölismerése előtt is volt már nevük, továbbra is megtartották jelölésüket.  $\beta$  Persei vagy Algol,  $\alpha$  Orionis, vagy Beteigeuze,  $\sigma$  Ceti az elsőnek fölfedezett változó, mely ezért a »Mira Ceti« (a czethal csodás csillaga) jelzõt kapta stb. Később a változókat egységes módon jelölték és pedig csillagképek szerint  $R$ -től kezdve a nagy latin betűkkel. A jelölés azért kezdődik csak  $R$ -nél, hogy összetévesztések ne forduljanak elő a BAYER-féle jelölésekkel, melyek csak  $Q$ -ig terjednek. Így például a Sárkány csillagképben először fölfedezett változó  $R$  Draconis nevet kapta.



Ha valamelyik csillagképben a változók száma meghaladja a 9-et és így a betűk már kifogytak, akkor kettős betűt használunk, pl. RS Librae; ha az R-hez már valamennyi betűt hozzáfűztük és még mindig akad változó, akkor S-el kezdve újra képezzük a sort, így pl. a 20-ik változó a Hattyú csillagképében SS Cygni-vel van jelölve.

A dolog természetében rejlik, hogy a változókról készített minden katalógus a folytonos fölfedezések, valamint az egyes csillagokról való ismereteink állandó növekedése miatt csakhamar elavul. Régebbi változócsillag-katalógusok felsorolása ennél fogva már csak történeti érdekű lehet. A legújabb CHANDLERnek 400 változó csillagot felölelő 1896-ban megjelent harmadik katalógusa. Ennek kiegészítése a *Kommission der Astronomischen Gesellschaft*-tól 1901. végén kiadott, 100 csillagot magában foglaló jegyzék. Az *Astronomische Gesellschaft* szándékozik teljesebb, irodalmi utalásokkal ellátott katalógust összeállítani. Megjelenése későbbre várható.

*II a. és II b. osztály.* E csoport tipikus csillagja a Mira Ceti. 1596-ban FABRICIUS fedezte föl. Ez az első fölismert változó csillag. Közepes periodusa 332 nap, de ezen értéktől jelentékeny eltérések is mutatkoznak. ARGELANDER bonyolult interpolációs formulát talált a periodus számítására, de ez már jó idő óta nem egyezik a valósággal. A fényesség-ingadozások még szabálytalanabbak, mint a periodus tartamának változásai. A maximumok 1·7 és 5·0 nagyságrend között ingadoznak, a minimumok pedig 8·0 és 9·5 nagyságrend között. A fényesség növekedése a minimumtól a maximumig majdnem még egyszer olyan gyorsan történik, mint a csökkenés. E csillag színképére vonatkozó vizsgálatokat már tárgyaltuk.

Egészen kivételes viselkedést látunk a bonni katalógus 30<sup>o</sup>, 591 csillagánál. Periodusa még ismeretlen, minthogy maximuma több esztendeig is eltart. Maga a fényváltozás  $7\frac{2}{3}$  esztendőre terjed, melyből hat esztendő jut a fénycsökkenésre,  $1\frac{2}{3}$  esztendő a növekedésre. A maximum és minimum fényességkülönbsége csak 0·6 nagyságrend. A legrövidebb (86 napos) periodusok egyike az U Geminorum-é, melynél a fényesség emelkedése 20 napig, csökkenése 66 napig tart. A fényesség a 9. és 13. nagyságrend között váltakozik.

Öt-hat nagyságrendnyi fényességingadozások gyakran előfordulnak e változóknál. Sőt ennél jóval nagyobbakat is megfigyeltek már. Így például *R Ursae* majorisnál az ingadozás 7.2 nagyságrendnyi 302 napos periodussal. *X Cygni*-nél a periodus 406 nap, az ingadozás 9.5 nagyságrendet is elér, a mi azt jelenti, hogy e csillag fényessége értékének 4000-szeresével váltakozik.

A II *b.* osztálynál, mint már említettük, a fényességingadozások többnyire csekélyek és teljesen szabálytalan lefolyásúak. Éppen ezért itt gyakran találkozunk csillagokkal, melyeknek változósága egyáltalán kérdéses. A III. színeképosztály több fényes csillaga sorozandó a II *b.* osztályba, így pl. az  $\alpha$  Orionis,  $\alpha$  Cassiopejae és  $\alpha$  Herculis.

A II. osztály fényességváltozásának magyarázatát minden jel szerint csak belső elváltozásokban kereshetjük. A periodus tartamában és a fényességingadozás nagyságában nyilvánuló szabálytalanságokat vagy egyáltalán nem, vagy csak nagyon is erőltetetten tudjuk mechanikai okokra visszavezetni. Az ide tartozó csillagok mind előrehaladottabb fejlődésfokon állnak, a mennyiben a II. és III. színeképosztályba tartoznak. Ez a körülmény arra látszik utalni, hogy előrehaladottabb állapot közvetlen lényeges föltétele a fényességváltozások létrejöttének. Az előrehaladottabb színeképosztályok és a napfoltok színeképe bizonyos hasonlóságot mutat. Közelfekvő tehát a gondolat, hogy a fényváltozások okát e csillagok felületén levő foltok mennyiségére vezessük vissza.

Arra, hogy fogalmunk legyen a foltképződésnek a csillag összfényére gyakorolt hatásáról, elég, ha a Nap foltjelenségeit vizsgáljuk, föltéve, hogy a fotométriái méréseink elég finomak a napfoltok okozta fényességváltozások kimutatására. Így pl. 27 napos fényességváltozást találnánk, ha a Napnak főleg csak *egyik* félgömbjén fordulnának elő foltok. Ezt a fényességváltozást a Nap tengelykörüli forgása idézné elő, a foltok megjelenése és eltűnése azonban mind az intenzitásban, mind a periodusban erős változásokat okozna. Gyakran ez a periodus egészen eltűnhetne, ha a foltok némileg egyenletesen volnának eloszolva, vagy ha teljesen hiányzanának. A rövid perioduson kívül találnánk még egy 11 esztendőset is, melyet a 11 éves napfoltperiodus okoz. Időtartamban és intenzitásban itt is jelentékeny ingadozások mutatkoznának. A minimumok ideje alatt jobban előtérbe kell lépnie a 27 napos periodusnak, mint a maximumok alatt.



Látjuk, hogy a Napot fényváltozásai alapján mindenestre a változó csillagok II *a.* osztályába kellene soroznunk. Megfordítva tehát azt következtethetjük, hogy a II. osztályú változó csillagoknál a fényesség-ingadozások többé-kevésbbé szabályos periodusú foltképződések eredményei. Esetleg még az égitest tengely körüli forgása is bonyolítja a jelenséget. Rövid periodusú változó csillagoknál a tengely körüli forgáson kívül a foltok számbeli változásai bonyolítják tovább a jelenséget.

Azt, hogy miért mutatkozik túlnyomóan az egy esztendő körüli periodus, nem tudjuk megmagyarázni. Lehet, hogy valamely általános törvény következtében a csillag fokozatos kihűlésekor a foltképződés növekszik, a periodus meg csökken. De az ilyféle megfontolások nélkülözik már a szigorú tudományos alapot.

Ha időszakosan ismétlődő jelenségekben a zavarok bizonyos mértéket meghaladnak, akkor már magát a periodust is nehéz fölismerni. A fényességváltozások szabálytalanul folynak le, hasonlóan mint a változó csillagok II *b.* osztályánál.

A folt föltevésének alkalmazásában némi látszólagos nehézségeket okoz a gyakran igen tetemes fényességkülönbség. Itt is a Napon észlelt viszonyokat véve alapul, állíthatjuk, hogy ha a Nap egész felületét foltok borítanák, akkor fényessége jelen értékének egyötvenedére süllyedne. A különbség körülbelül négy nagyságrenddel volna egyenlő. A változó csillagok II *a.* osztályánál is nagyjából ily átlagos fényességkülönbségek fordulnak elő. De egyes csillagoknál e különbségnek 10-, 20-szorosát is találjuk. A Napéhoz hasonló szerkezetű foltok föltevésével ezt már nem tudjuk megmagyarázni. Azt is föltehetjük, hogy a foltképződés nagyobboldásával a foltok fényelnyelő képessége is jelentékenyen növekszik. Ez pedig voltaképpen a III. színképtípus csillagainak spektroszkópai megfigyelése alapján bebizonyítottnak tekinthető. Az említett nehézség ilyformán csak látszólagos.

Tekintettel a folt-föltevés nagy valószínűségére, a többi föltevések közül még csak egyet említünk röviden.

A ZÖLLNER-GYLDÉN-féle elmélet szerint a változóság főperiodusát a csillagok tengely körüli forgása okozza. ZÖLLNER úgy gondolja, hogy a változó csillagoknál a lehűlés nem egyenletesen történik az egész felületen, hanem bizonyos részeken

salak halmozódik föl. Az asztrofizika mai állása szerint a ZÖLLNER-féle salakelmélet már elavultnak tekinthető, de képzelhetünk a salak helyett esetleg foltszerű képződményeket. Abból a célból, hogy a fényességnövekedés és csökkenés nem szimmetrikus voltát megmagyarázhassuk, különös alakú salakmezőket kell föltennünk. A periodusváltozásokat a salakterületek vándorlásával lehetne magyarázni. GYLDÉN a magyarázat könnyítése céljából fölvette, hogy a csillag forgástengelye nem esik össze a tehetetlenségi főtengellyel, tehát az ellipszoid legrövidebb tengelyével. Az utóbbinak a forgástengely körül való mozgásából lehetne levezetni a periodus változásait. Ez az elmélet szembetűnően eddig teljesen ismeretlen föltevéseken alapszik.

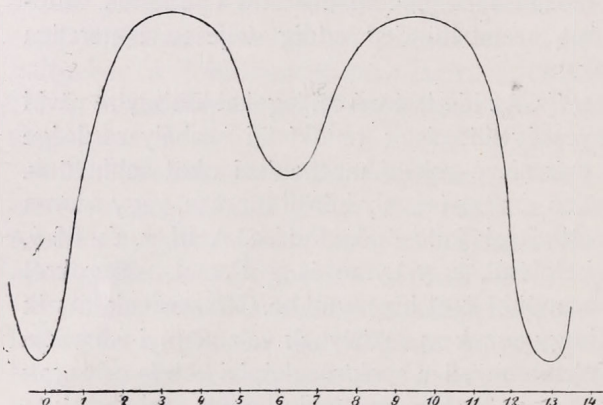
*III a. és III b. osztály.* Az ide tartozó csillagokat többnyire rövid periodus és a fényességváltozások rendkívüli szabályszerűsége jellemzi, úgy hogy már eleve valami mechanikai okot sejthetünk. Ez lehet vagy egyetlen csillag tengely körüli forgása, vagy szoros kettős csillag összetevőinek kölcsönös fődése. A III a. és III b. osztály két főképviselejéről, a  $\beta$  Lyrae és  $\beta$  Persei csillagokról spektrográfiai úton az utóbbi eset bizonyult be. Célszerűnek látszik tehát az a föltevés, hogy ennek az osztálynak valamennyi változója kettős, annyival is inkább, mivel a spektroszkópiai kettős csillagok százaléka oly nagy, hogy a kettősséget tekinthetjük szabálynak és az egyszerűséget, mint például a Napot, a kevésbbé valószínű esetnek. Nem lehetetlen, hogy a III a. osztály változó csillagai között olyanok is vannak, melyeknél a fényesség változásait tengely körüli forgásuk idézi elő és a foltcsoportok eloszlása nem szimmetrikus. De akkor idővel oly fokú rendellenességet kellene észlelni, mely a csillagra mint a II a. osztályba tartozóra jellemző és e mellett határozottan vörös fényűnek kellene lennie.

Mellőzve minden egyéb föltevést, bizonyosra vesszük, hogy a III. osztály csillagainál a fényváltozásokat két csillag egymáskörüli keringése okozza. Az *a* és *b* alosztályok mindössze abban különböznek egymástól, hogy *a* esetében két meglehetősen fényes, *b* esetében pedig egy fényes és egy aránylag sötét égitestről van szó.

*III a. osztály.* Képzeljünk szoros kettős csillagot fényességben közel egyforma két összetevővel. A pályasíkban levő megfigyelő látja, hogy egymás körül való keringésük közben konjunkciókor



és oppozíciókor egymást eltakarják; quadraturában pedig mindkettő egyformán látható. A két quadraturánál tehát két fényességmaximum áll be. Ha ezenkívül mindkettő egyenlő nagy és felületi fényességük egyforma, akkor a minimumok is egyenlők. Általában a két összetevő nem lesz egyforma nagyságú és felületi fényességű. De akkor az oppozíció és konjunkció fényessége is különböző, t. i. az egyenlő maximumokat két különböző minimum fogja egymástól elválasztani. Ezt az esetet látjuk  $\beta$  Lyrae-nél. Ha pályák nem kör-, hanem ellipszisalakúak és az ellipszis nagy tengelye



204. rajz.

nem esik véletlenül össze a látósugárral, akkor a fényesség-görbe nem lesz szimmetrikus. Mind ezen esetek előfordulnak az eddig ismert  $\beta$  Lyrae-típusú változóknál.

Abban a különös esetben, mikor egyenlő felületi fényesség

mellett a két égitest egyforma nagy és a Föld pályájuk síkjába esik, a világító felület a quadraturáknál kétszer akkora, mint fődések alkalmával. A maximumok tehát kétszer oly fényesek, mint a minimumok, a mi 0.8 nagyságrendnyi fényességkülönbséggel egyenlő.

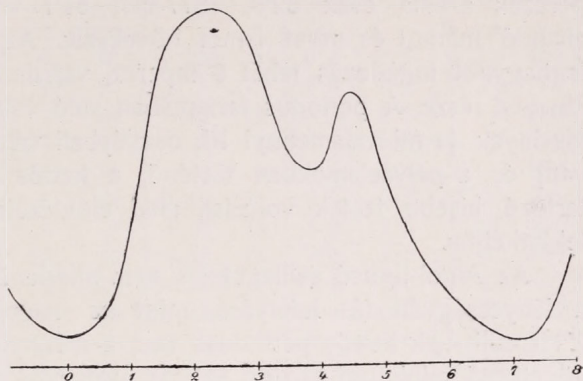
A III a. osztály változóinak egynémelyikéről álljon itt néhány közelebbi adat (MÜLLER nyomán).

$\beta$  Lyrae. Fényességváltozásának menetét már tárgyaltuk. Tiszta képet nyújt erről a 204. rajz. A periodust és idővel való változásait SCHUR szerint a következő képlettel állíthatjuk elő:

$$1855. \text{ jan. } 6., 15^h 28^m 0 (Bonni \text{ középido}) + 12^d 21^h 47^m 23^s.72 E + \\ + 0^s.315938 E^2 - 0^s.00001211 E^3,$$

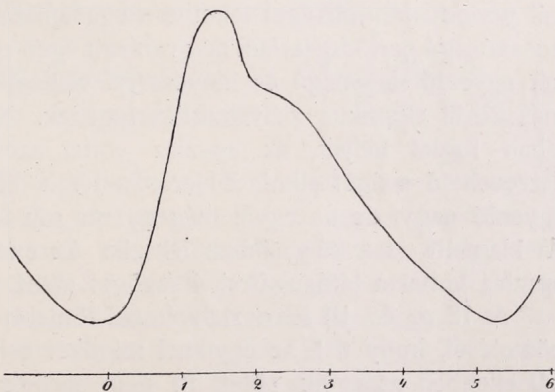
ahol  $E$  a periodusok számát jelenti az 1855. esztendőre fölvetett főminimumtól kezdve.

$\eta$  *Aquilae*. A periodus szintén lassan változik, de a fényesség-görbe nem szimmetrikus (elliptikus pálya). A minimum (4·7 nagyságrend) után a fényesség 2 nap 6 óra alatt a fő-maximumra növekszik (3·5 nagyságrend). A 4·1 rendű második minimumot továbbá 1 nap 15 óra alatt éri el és a második, 3·8 rendű maximum utána 13 órával következik be. 2 nap 18 óra múlva ismét a kezdeti minimumra csökken (205. rajz).



205. rajz.

$\delta$  *Cephei*. Periodusa 5 nap 8 óra 47 percz 40 mpercz, a fényesség ingadozása 1·2 nagyságrendű. A mellék-maximumot és minimumot csak a fényességcsökkenés meglassulása jelzi gyöngén, mint a 206-ik rajzon látjuk.



206. rajz.

### III b. osztály.

Ez osztály főképviseelőjének, az Algolnak fényességváltozásáról már volt szó, úgyszintén pályaelemeiről is, melyeket a fényváltozásokból és a spektrográfiai eredményekből vezettek le. Az Algol a leggyakrabban megfigyelt változó csillag. Periodusának változásait legjobban ismerjük.

1762-ben vagy valamivel később a periodus tartama 2 nap 20 óra



48 percz 58'0 mpercz volt. 1830-ig kisebb ingadozásokkal 2 nap 20 óra 48 percz 59'2 mperczre növekedett. 1858-ban a másodperczek száma csak 52'8, 1877-ben 51'1 volt, azután sokáig állandó maradt és most ismét növekszik. Az eddig megfigyelt legnagyobb ingadozás tehát 8 mpercz, vagyis az egész periodus  $\frac{1}{3100}$ -ed része. A periodus tartamában való változások tehát igen kicsinyek [a mi valamennyi III. osztálybeli változó csillagnál így van] és a pályaelemekben történő, a kettős csillagrendszerhez tartozó kisebb testek vonzása által előidézett háborgatásoknak tekinthetjük.

Az Algol-típusú csillagoknak nem mindenikénél oly egyszerű a fényességváltozás lefolyása, mint az Algolnál. *Y*Cygni- és *Z*Herculis-nek kettős periodusa van, a mennyiben két egymásra következő minimum közötti időköz szabályos menetben változik. DUNÉR szerint *Y*Cygni két periodusa 1 nap 10 óra 11 percz 10 mpercz és 1 nap 13 óra 43 percz 43 mpercz, *Z* Herculis-é pedig 1 nap 22 óra 49 percz és 2 nap 0 óra 59 percz. Az egymásra következő minimumok kis mértékben a fényességben is különböznek. *U*Cepheire nézve is áll ez, a nélkül, hogy e csillagnál perioduskülönbséget lehetne megállapítani. A két különböző hosszúságú periodustartam magyarázata igen egyszerű. Az *Y*Cygni két egyenlő nagyságú és fényességű csillagból áll, melyek egymás körül elliptikus pályában keringenek. Napunk e pálya síkjában foglal helyet, az apszisz vonal azonban a látósugárral észrevehető szöget alkot. *Z*Herculis-nél a két összetevő ugyan egyenlő nagy, de az egyik még egyszer oly fényes, mint a másik. A Nap itt is a pályasíkban fekszik. Az excentricitás 0'25, az apszisz vonal a látósugárral 4° szöget alkot.

A III *a.* és III *b.* osztályoknak főntebb említett megkülönböztetését, hogy t. i. az egyiknél mindkét csillag fényes, a másiknál ellenben az egyik sötét, itt nem tartjuk fenn. Különbben is sokkal helyesebb a különbséget abban keresni, hogy az Algol-csillagoknál a tulajdonképpeni fényváltozás az egész periodusnak csak tört része, míg a Lyra-csillagoknál nyugvó pont tulajdonképpen nincs is.

A következő táblázat az eddig ismert Algol-típusú csillagokat foglalja magában:

Név	Rektasz- cenzio	Deklináció	Mini- mum	Maxi- mum	Periodus
	óra perc				n. ó. p.
<i>S</i> Antliae	9 28	− 28° 11'	6·7	7·3	0 7 46·8
<i>U</i> Ophiuchi	17 11	+ 1 19	6·0	6·7	0 20 7·7
<i>R</i> Can. maj.	7 15	− 16 12	5·9	6·7	1 3 15·8
♂ Librae	14 56	− 8 7	5·0	6·2	2 7 51·4
<i>RS</i> Sagittarii	18 11	− 34 9	6·4	7·5	2 9 58·4
<i>U</i> Cephei	0 53	+ 81 20	7·1	9·2	2 11 49·6
β Persei	3 2	+ 40 34	2·3	3·5	2 20 48·9
<i>Y</i> Cygni	20 48	+ 34 17	7·1	7·9	2 23 54·7
<i>U</i> Coronae	15 14	+ 32 1	7·5	8·9	3 10 51·2
λ Tauri	3 55	+ 12 13	3·4	4·2	3 22 52·2
<i>Z</i> Herculis	17 54	+ 15 9	7·1	8·0	3 23 49·5
<i>R</i> Arae	16 31	− 56 48	6·9	8·0	4 10 12·7
<i>W</i> Delphini	20 33	+ 17 56	9·5	12·0	4 19 21·2
<i>S</i> Velorum	9 29	− 44 46	7·8	9·3	5 22 24·4
♂ Cancri	8 38	+ 19 24	8·2	9·8	9 11 37·8

## HUSZONNYOLCZADIK FEJEZET.

## A fotográfia eredményei az állócsillagok vizsgálatában.

Azokat a rendkívüli eredményeket, a melyekre a fotográfia alkalmazása az állócsillagok terén vezetett, a nagyobb refraktorokkal készített fölvételeknél két oknak köszönhetjük. A méréseket pontosabban lehet elvégezni és az éjjeli megfigyeléseknél nagyon sok idő takarítható meg. Ezt a két körülményt egyszerre akarjuk megvilágítani, azért vegyük azt a feladatot, hogy 100 csillag viszonylagos helyzetét optikai és fotográfiai úton meg akarjuk határozni hat szomszédos csillaghoz képest. A mérések pontossága akkora legyen, hogy a viszonylagos helyzetek valószínű hibája 0·15''-nél ne legyen nagyobb. Mind a két esetben egyenlő nagy eszközt használunk, pl. 3·4 m gyújtótávolságút. A fotográfiai csillagtérképeket ugyanis ilyen távcsövekkel készítették. Ha az optikai módszerrel a kívánt pontosságot el akarjuk érni, akkor mindegyik csillagot két alapcsillaggal a fonalmikrométer segítségével



legalább négyszer kellene összehasonlítani, ha minden összehasonlításnál négy beállítást végzünk. Öt órás megfigyelés alatt körülbelül 60 mérést végezhetünk mind a két koordinátára. De összesen 800 összehasonlítás kell, tehát 14 napi 5—5 órás, vagyis összesen 70 órai munka kell. Ugyanezt a pontosságot úgy érhetjük el, hogy két fölvételt mérünk ki 2—2 beállítással. A kétféle módszer összehasonlításánál csak fényesebb csillagokról lehet szó, mert az optikai távcsőben csak ezeket lehet látni. Tehát minden fölvétel legföljebb egy óráig tart. A 70 órával szemben csak két órai éjjeli munka kell. De a két fölvétel kimérése nappal szintén sokkal gyorsabban megy. Mindegyik lemezt 6—6 óra alatt ki lehet mérni, tehát az egész munka 12 óráig tart. A redukálás mind a két esetben egyenlő időt vesz igénybe.

A fotografiai eljárás másik előnye az, hogy olyan csillagokat is lehet mérni, a melyek 1—2 nagyságrenddel gyengébbek az optikailag megfigyelhető határnál.

Érjük be ezekkel a rövid megjegyzésekkel, mert a fotografiai kimérésekkel elért eredmények a tiszta asztronómia körébe tartoznak. De mások a viszonyok a Tejútnak és a csillaghalmazoknak abban a fölfogásában, a melyre a fotografia vezetett. Ez a fölfogás általános érdekű és asztrofizikai eredményekkel függ össze. Könyvünk utolsó fejezetében ezt akarjuk tárgyalni.

A Tejutat és a csillaghalmazokat fotografiai úton ezeknek az égitesteknek sajátos természete miatt csak különböző segédeszközökkel lehet vizsgálni. Ha kis, nagyon sűrű csillaghalmazt akarunk vizsgálni és a halmaz fölbontása már nehéz, akkor nagy gyujtótávolságú távcsövet kell használni. A fölbontás csak akkor lehetséges, ha a gyujtósíkban az égitestek képe között a távolság nagyobb, mint a csillagok kis korongjának átmérője. Ha a távcső nagy gyujtótávolságú, akkor alapjában mindegy, hogy refraktor-e, vagy reflektor, de a teljes szintelenítés miatt a *jó* reflektor előnyösebb, mint a *jó* refraktor. Ha a csillaghalmazokat nem tudjuk fölbontani, akkor bizonyos tekintetben úgy viselkednek, mint a ködfoltok. Ilyenkor az eszközök lehetőleg fényerősek legyenek, vagyis lehetőleg nagy nyílásuk és aránylag kis gyujtótávolságuk legyen. Ha ilyen természetű kis égitesteken részleteket akarunk megismerni, akkor a kép lehetőleg nagy legyen, vagyis

a gyujtótávolságnak, habár kicsi is az objektív nyílásához viszonyítva, lehetőleg nagynak kell lennie. Ezt pedig csak nagy tükrös távcsövekkel lehet elérni.

A Tejút fotografiáinál a viszonyok egészen sajátosak. A Tejút könnyen felbontható, tehát a nagy távcsövekkel készített fölvételeken, minthogy látómezejük aránylag kicsi, csak sűrű csillaghalmazt lehet látni. A Tejút szerkezetét így nehezebben lehet fölismerni, mint akár szabad szemmel. De használjunk nagyon fényerős, de kisméretű eszközt, kicsiny gyujtótávolsággal, nagy nyílással és látómezővel, akkor a Tejút képében a csillagok korongjának átmérője nagy a csillagok távolságához képest. A sűrű helyeken a korongok összefolynak, tehát ezek a részek a ritkább helyekhez képest igen fényesek. A Tejút szerkezetét így sokkal világosabban lehet fölismerni, mint akármilyen más módon. De ha ezeket az esztétikai szempontból is kiváló fotografiákat nézzük, sohase feledjük, hogy fotografián az ellentét a világosabb és sötétebb helyek között épp úgy, mint a ködfoltoknál, nem a valósággal egyezően látszik. Az alak mindenesetre helyes és ez a fő, de az ellentétek túlzottak.

*A Tejút.* XIII. táblánk BARNARD fölvétele a Tejútnak arról a részéről, melynek középpontjában a koordináták  $18^h 10^{min}$  és  $20^0$ . A kép vízszintes mérete az égbolton körülbelül  $12^0$ . A Tejútnak ebben a részében egyáltalában nincsen ködfolt és a csillagok sűrűsége az egyes helyeken igen különböző. A kép nagyrészét üresség foglalja el, sűrű csillagrajttól körülvéve. Több különböző alakú sűrűsödés, vagy csillaghalmaz van benne. Képünk felső részén körülbelül  $15'$ -nyi nagyságú csillaghalmaz van, a csillagok olyan sűrűek benne, hogy egészen összefolynak. A középső nagy halmazt még föl lehet bontani és ekkor érdekes szerkezete látszik. Két ovális hely van benne majdnem egészen csillagok nélkül, a melyek látszólag sötét csatornákkal állanak kapcsolatban. A két felső csatorna különösen avval tűnik ki, hogy szélüket sűrűn borítják csillagok, mintha a csillagok a csatornák helyéről oldalt eltolódtak volna. Az üres csatornák és a fényes csillagoknak gyöngysorhoz hasonló sorozata gyakori jelenség a Tejút sűrűbb vidékein. Gyakran 10—12 csillagra terjednek és különféle görbe alakjuk van. De az ilyen alakoknak nincs valószínű alapjuk. Mindig előállnak olyan találomra szétszórott apró



korongok halmazában, a melyeknek átmérője nem sokkal kisebb, mint közepes távolságuk. Kőlapokon is láthatók eső kezdetén. A bonni csillagtérképek legsűrűbb részeiben szintén vannak ilyen lánczok. A nagyobb refraktorral készült fölvételeken a jelenség egészen eltűnik, mert akkor a kis korongok a távolságukhoz képest kicsinyek és megszűnik az a fiziológiai szükséglet, hogy egymás mellé sorozzuk őket. Annak valószínűsége, hogy a csillaglánczok a valóságban is együvé tartoznak, növekszik, ha az alakok nem tetszőlegesek, hanem határozottak, pl. egyenes vonalúak, a melyek látszólag más üres helyekkel is összefüggnek. Ide tartozik az előbbi példa. Bár nehéz a jelenség valóságának benyomásától egészen szabadulni, mégis megkíséreljük. Meg kell ugyanis gondolnunk, hogy az olyan csoportosulásban, a melyet látszólag kétségtelenül belső összefüggés létesít, a lehetőségek óriási nagy száma miatt mégis teljesen a véletlen törvényei uralkodnak.

SCHEINER atlaszának egyik tábláján pl. igen jól látható hat csillag, mely szabályos ötszöget határoz meg középponti csillaggal. Itt csak véletlenről lehet szó. XIII. táblánkon ezt az alakot, sajnos, nem lehet látni, mert a klisé készítésének módja következtében a csillagok alakja változik.

A Tejút fotográfiáiból láthatjuk a legjobban, milyen óriási számú csillag van a világégvetemben.

Ha a fotográfiákat összehasonlítjuk pl. a bonni déli csillagtérképpel, mely a csillagokat a 10. nagyságrendig tartalmazza, akkor a fotográfián látható adatokat nehéz a térképen megtalálni, Ennek főleg az az oka, hogy a fotografia, mint említettük, az ellentétet másképpen tünteti fel, mint a hogy a szem látja, de jórészt az is, hogy a Tejút felé főleg a gyengébb csillagok száma nő, képeinken pedig még a 12-edrendű csillagok is láthatók. Ez azért fontos, mert azt látjuk belőle, hogy állócsillagrendszerünket nem ismerjük meg eléggé, ha csak a fényesebb csillagokra szorítkozunk.

A Tejútnak nagyon sok helyén a csillagok sűrűsödése valóságos ködfolttal kapcsolatos, így például a Hattyúban. A legérdekesebb ilyen helyet az Auriga csillagképben WOLF fotografálta le. A jelenség gyakori ismétlődése miatt lehetetlen, hogy a ködfolt és csillaghalmaz véletlenül esik össze. Okozati összefüggésnek kell köztük lenni, de részleteket nem tudunk róla.

Azelőtt a Tejút szabálytalan, helyenként elágazó övnek tekintették, melyben a csillagok sűrűsödnek. Külseje megfelel HERSCHEL felfogásának, hogy állócsillag-rendszerünk lencsealakú. De a fotográfia eredményeit aligha lehet az előbbi felfogással összeegyeztetni. Nagyon sűrű és nagyon ritka helyek közvetlenül egymás mellé esnek. Ez ellenkezik avval a felfogással, hogy a csillagok sűrűsége csak attól az iránytól függ, a melyben a rendszert nézzük, tehát a Tejút gyűrűje sokkal kiterjedtebb lenne a Tejút síkjában, mint rá merőleges irányban. Ha ez így volna, akkor a föltűnően üres helyeket a legnagyobb sűrűsödések között csak olyan hengeralakú üres csövekkel lehetne magyarázni, melyeknek tengelye felénk, a Tejút közepe felé irányul. Ez pedig igen valószínűtlen, mert ilyen helyek gyakoriak. A valószínűtlenség különösen akkor föltűnő, ha az üres helyek hosszú csatornák. Föl lehetne ugyan tenni, hogy a Tejút általában, vagy legalább azokon a helyeken, a hol üres nyílások vannak, alig mélyebb kiterjedésű, mint a milyen széles, tehát jobban hasonlít valóságos övhöz, mint a Saturnus gyűrűjéhez. De nincs olyan égitest, a melynek ilyen alakja lenne. A gyűrűs ködök ugyan némileg hasonlóak, de nem csillaghalmazok, hanem valóságos ködök.

Vissza kell térnünk az Andromeda-köd színekéből levont ama következtetésünkre, hogy állócsillag-rendszerünk olyan spirális ködféle, a milyen maga az Andromeda-köd. Középponti csillaghalmazból áll, a melyhez majdnem ugyanabban a síkban fekvő, csigavonalas, szintén csillagokból álló ágak kapcsolódnak. A középponti csillaghalmaznak körülbelül a fényesebb csillagok rendszere felel meg, nagyjában közepén vagyunk mi. Tehát egyúttal a spirális síkjában vagyunk és így nem látjuk a spirális alakját, hanem csak szabálytalan övet. A Tejút elágazásainál a spirális kilép a síkból, az üres helyeken átlátunk a spirális egyes ágai között. A Tejútnak legfényesebb és legkönnyebben felbontható helyei a spirális egyes ágainak hozzánk legközelebb eső kiinduló pontjai, a Tejút kisebb-nagyobb csillaghalmazai pedig olyan csomók és világosabb helyek, a melyek minden spirális ködben láthatók.

XIV. táblánk az Andromeda-köd képe RITCHEY-nek a Yerkes csillagvizsgáló nagy refraktorával készült fölvétele szerint. A középső fényes, kissé lapult csillaghalmazból legalább öt spirális-ág indul



ki, a mely többször felbomlik és igen bonyolult szerkezetű. Mi ferdén nézünk a spirális síkjára, ezért nehezebb az ágakat különválasztani és követni. A két közeli csillaghalmaz az Andromeda-rendszerrel nem függ össze és szintén nem bontható fel.

Véleményünk szerint az Andromeda-rendszer önálló csillag-rendszer, olyan rendű, mint a mi egész állócsillag-rendszerünk. Az Andromeda-rendszeren belül és kívül látszó sok csillag még a mi rendszerünkhöz tartozik. Ha ezt szűkebb értelemben világ-



207. rajz.

egyetemnek tekintjük, akkor az Andromeda-ködben másik világ-egyetemet látunk. Nagy különbség van azon gyenge, elmosódott kis folt, a milyennek az Andromeda-ködöt szabad szemmel látjuk, és a fotografiai úton kapott eredmények és felfogások között.

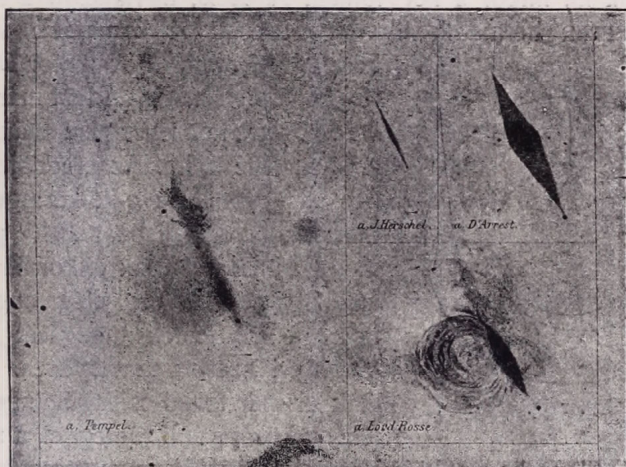
A spirális ködök, ezek a távoli állócsillagrendszerek, gyakoriak az égbolton. Több esetben az Andromeda-ködéhez hasonló spirális szerkezetet csak a fotografián lehetett felismerni.

Ilyen érdekes égitest a Vadászkutyák jól ismert spirális köde. A XV. tábla RITCHEY fölvételét mutatja. Jóval kisebb, mint az Andromeda-köd. Képünk mértéke kétszer nagyobb, mint az Andromeda-ködé.

A magból két spirális ág indul ki, több, mint egy teljes

menetig követhetők és többször elágaznak. A jellemző csomók jól felismerhetők. Érdekes az az erős sűrűsödés, a mely az egyik spirális végére esik.

Kissé eltérő a Pegasusban levő spirális köd alakja. 207. rajzunk KEELER-nek a Lick-csillagvizsgálóban készült fölvételét mutatja. A középponti sűrűsödés csak kevéssé tűnik fel. Két szembenfekvő helyen spirális alakú vonalak indulnak ki belőle. Az egész ködnek így S alakja van. Összehasonlítás végett a



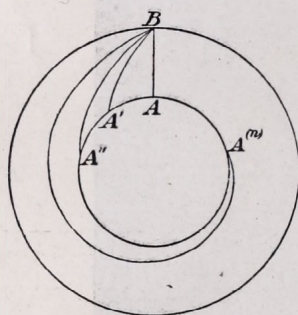
208. rajz.

208. rajzon ennek a ködnek azokat a képeit láthatjuk, a melyeket a leghíresebb ködkutatók (TEMPEL, HERSCHEL I., D' ARREST, LORD ROSSE) hatalmas távcsövekkel készítettek. Az összehasonlításból nagyon jól láthatjuk a fotográfia előnyeit. Az első három megfigyelő egyáltalában nem ismerte fel a spirális szerkezetet. LORD ROSSE az összes távcsövek leghatalmasabbikával meglátta ugyan, de azért rajza távolról sem egyezik meg a valóságos alakkal.

Mint minden érdekes jelenség, a ködfoltok spirális szerkezete is arra indított sok csillagászt, hogy a jelenség magyarázatát keresse. A jelenség törvényszerűsége azt mutatja, hogy aránylag egyszerű mechanikai folyamatokon kell alapulnia. A sok kísérlet közül csak egy magyarázatot választunk ki, a mely egy-



szerű és ismert jelenségeken alápszik. Ez a magyarázat WILCZYNSZKI-től ered. SCHIAPARELLI és BREDICHIN vizsgálataiból tudjuk, hogy eredetileg gömbalakú, kis részekből álló égitest (üstökös) alakja változhat, ha a Naphoz közeledik. Ha az égitest ismételten közeledett már a Naphoz, akkor egész tömege a pálya mentén eloszolhat. Ez az eloszlás akkor áll be, ha a részek kölcsönös vonzása kicsi a Nap vonzásához képest. Egyszerűség kedvéért vegyük fel, hogy nagyobb középponti tömeg körül két test,  $A$  és  $B$  (209. rajz), körpályán KEPLER törvényei szerint mozog. Abból a pillanattól induljunk ki, mikor a két tömeg,  $A$  és  $B$ , ugyanazon a sugáron van. KEPLER harmadik törvénye szerint  $A$  hamarabb végzi el



209. rajz.

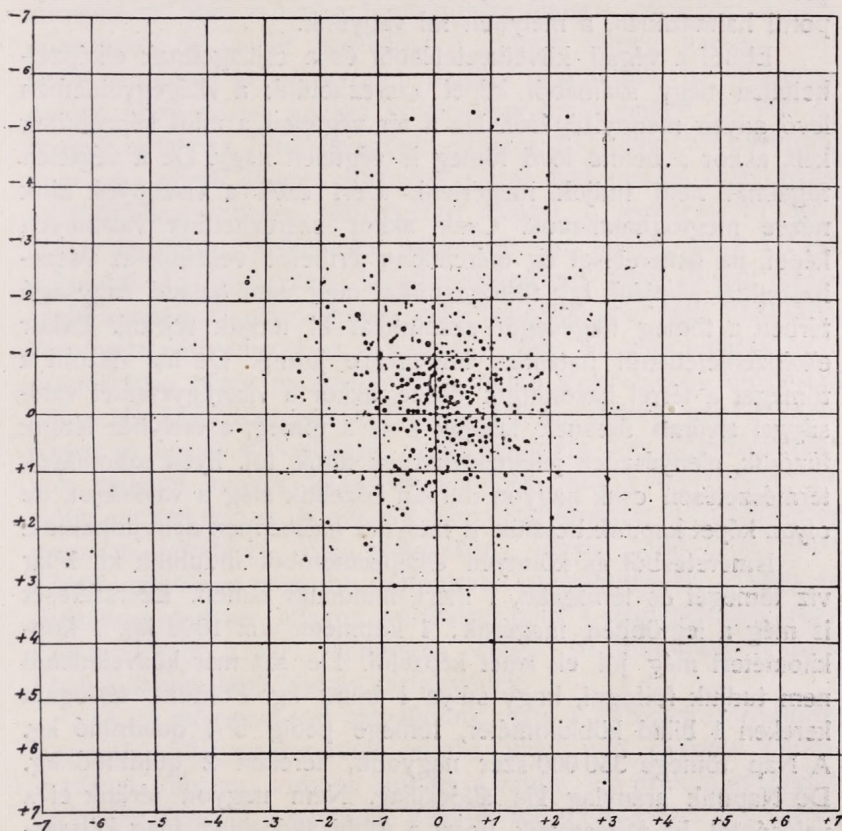
keringését, mint  $B$ . A mikor  $B$  eredeti helyzetébe visszatér,  $A$  test már  $A'$ -ben van.  $B$ -nek két keringése után  $A$  test  $A''$ -ben lesz s. t. i. Az eredetileg egyenes  $AB$  vonal az  $n$ -ik keringés után mindinkább spirálisba, a  $BA^{(n)}$  görbébe megy át. De ez csak akkor áll elő, ha a középponti tömeg elég nagy arra, hogy a kis testek mozgását KEPLER törvényei szerint szabályozza. Képzeljünk el már forgó csillaghalmazt jelen-

tékeny középponti tömeggel, a melyből a kezdő állapotban a külső részeken majdnem sugaras irányban nyúlványok indulnak ki. Néhány keringés után ezeknek mindinkább spirális alakjuk lesz.

Hasonlóképpen nagy jelentőségű a fotográfia alkalmazása azokra a többnyire gömbalakú csillaghalmazokra, a melyeket jól fel lehet ugyan bontani, de a csillagok olyan sűrűek bennük, hogy optikai megfigyeléssel nem lehet tájékozódni, tehát a csillagok elhelyezkedését pontosan nem lehet megismerni. Nagyobb távcsövekkel készített fölvételeken a csillagok kis korongjai elkülönülnek, sőt nagyítóval néhány csillagot ki lehet mérni.

A legismertebb ilyen égitest a Herkulesben levő csillaghalmaz. SCHEINER mérte ki először ezt a csillaghalmazt a potsdami csillagvizsgálónak fotografáló refraktorával készített fölvételeken. 833 csillagot tudott kimérni. 210. rajzunk a mérések eredménye szerint készült. Híven tünteti fel a csillagok eloszlását, bár közepén

néhánynak képe kimaradt, hogy a kis korongok össze ne folyanak. Ennek a csillaghalmaznak későbbi fölvételeinél és kimérésénél még jóval több csillagot lehetett figyelembe venni.



210. rajz.

A legszebb és csillagban leggazdagabb kétségtelenül az  $\Omega$  Centauri csillaghalmaz. A XVI. tábla GILL-nek a Jóreménység-fokán készült fölvétele. A csillagok száma ebben a halmazban bizonyára néhány ezerre rúg. Még nem akadt csillagász, a ki a kimérés hatalmas munkáját elvállalta volna.

A csillaghalmazok távolsága még egészen ismeretlen. De ha nem akarjuk föltenni, hogy az egyes csillagok sokkalta nagyobbak,



mint átlag a mi csillagrendszerünkben, akkor a halmazoknak rendszerünkön belül kell lenniök, másképpen nem lehetnének oly könnyen szétbonthatók. Bennük a csillagok valóban igen sokszorta sűrűbben vannak, mint rendszerünknek abban a közép-ponti halmazában, a melyben mi vagyunk.

Ebből a végső következtetésből és a csillagoknak elképzelhetetlen nagy számából képet szerezhethetünk a világegyetemben levő anyag mennyiségéről. Ha a tér végtelen, a mint képzelünk kell, akkor a benne levő tömeg is végtelen nagy. De a végtelen fogalmát nem tudjuk megérteni, azért ezek a viszonyok ránk nézve megfoghatatlanok. Csak akkor szerezhethetünk valamilyen képet, ha ismereteset és méreteiben érthetőt veszünk az összehasonlítás alapjául. Így fölfogásunkat meg nem haladó nagyságú térben a tömeg nagyságát számokkal ki tudjuk fejezni. Ekkor elképzelhetetlenül hatalmas tömegekre jutunk. De ha viszont a tömeget a térrel hasonlítjuk össze, akkor a világegyetemet valóssággal siváran üresnek találjuk s az a tömeg, a melyhez létünk fűződik, elenyészően jelentéktelennek tűnik föl. Ilyen számítások természetesen csak nagyon durván közelítik meg a valóságot, de olyan képet kapunk belőlük, a melyhez másképpen nem juthatunk:

Ismeretesből és könnyen elképzelhetőből indulunk ki. 1 kg víz tömegét és térfogatát, 1 litert, mindenki ismeri. Ezerszeresét is még a legtöbben megértik: 1 köbméter víz 1000 kg. 1 köbkilométert még jól el lehet képzelni. De azt már közvetlenül nem tudjuk fölfogni, hogy súlya 1 billió kg. Földünk térfogata kereken 1 billió köbkilométer, tömege pedig  $5\frac{1}{2}$  quadrillió kg. A Nap tömege 350 000-szer nagyobb, kereken 2 quintillió kg. De Napunk aránylag kis állócsillag. Nem nagyon térünk el a valóságtól, ha fölteszszük, hogy a többi állócsillag átlag kétszerakkora tömegű, mint a Nap. Kevésbé biztosan tudjuk rendszerünk állócsillagainak számát megmondani, mert eddig a távcsövek fényerősségének minden növelése a csillagok számának növekedésével járt. Önkényesen 1 billió csillagot veszünk föl. Ekkor arra az eredményre jutunk, hogy állócsillag-rendszerünk 4 szeptillió kg, 42 zérussal írt szám.

Ez csakugyan óriási tömeg és a természetet, a mely ilyen tömegekkel dolgozik, szinte tékozlónak tekintjük. De a kép éppen az ellenkezőbe csap át, ha a tömeget a térrel összehasonlítjuk.

Naprendszerünk tömege eredetileg gömbben volt egyesítve, melynek sugara legalább akkora, mint a Neptunus távolsága a Naptól. Ez a távolság 4467 millió kilométer, a gömb térfogata 373 000 quadrillió köbkilométer, vagyis 1 kg tömeg jut 0.187 köbkilométerre. Más szóval a Naprendszer átlagos sűrűsége akkora, mint mikor 57 m élű koczkában 1 gramm tömeg oszlik el. Ez pedig rendkívül kevés, a mint rögtön beláthatjuk, ha meggondoljuk, hogy ekkora koczka rendes légnyomás mellett 230 000 kg levegőt tartalmaz. Tehát levegőnk sűrűsége 230 milliószor nagyobb, mint ama gömb átlagos sűrűsége. De ez még mindig óriási nagy az állócsillag-rendszer sűrűségéhez képest. A legközelebbi állócsillag legalább 200 000-szer messzebb van tőlünk, mint a Föld a Naptól. Az úgynevezett külső csillagok még átlag 10-szer messzebb vannak, a legtávolabbiak pedig talán 100-szor vagy 1000-szer. Bizonyára nem túlzott az a föltevés, hogy az állócsillagok egymástól átlag olyan messze vannak, mint a legközelebbi állócsillag tőlünk és hogy tömegük körülbelül kétszer akkora, mint a Napé. Akkor az egyes állócsillagok olyan majdnem üres gömbben vannak, melynek sugara 3500-szor nagyobb, mint a Naprendszernek előbb említett sugara. Mindegyik állócsillag tömegét ilyen 3500-szor nagyobb gömbben kell szétoztani, vagyis  $3500^3$ -ször, tehát 43 000 milliószor nagyobb tétfogatra. Ugyanennyiszer kisebb az állócsillag-rendszer átlagos sűrűsége, mint a naprendszeré, vagy 230 milliószor 43 000 milliomod, vagyis 10 trilliomod része a Föld fölületén levő légkör sűrűségének.

De itt még nem kell megállnunk. Arra a fölfogásra jutottunk, hogy állócsillag-rendszerünk spirális alakú köd, hasonló a fotográfiával fölismert számos spirális ködhez és ezek mindegyike független állócsillag-rendszer. Vegyük föl, hogy ezek a rendszerek egyenlők. Ez a föltevés, ha a rendszereket egyenként vesszük, bizonyára nem helyes, de átlagban jogosult. Ekkor ezeknek az égitesteknek látszólagos sugarából távolságukat meg lehet határozni. Az Andromeda-köd átmérője  $3^0$ , tehát az állócsillag-rendszerek sugarának húszszorosára van tőlünk. A második legnagyobb spirális köd, a mely a Vadászkutyákban van,  $10'$  átmérőjű, 300-szor távolabb van tőlünk, a többi még messzebb. Ha középértéknek 100-at veszünk, akkor az állócsillag-rendszerekhez tartozó terek  $100^3$ -ször, vagyis 1 milliószor nagyobbak, mint az a



gömbalakúnak vett tér, a melyet valóban betöltenek. Így arra az eredményre jutunk, hogy a látható világegyetem átlagos sűrűsége 10 quadrilliószor kisebb, mint légkörünké.

Ha erről némi fogalmat akarunk szerezni, vegyünk föl 1 km élű, levegővel telt koczkát, vagyis 1 köbkilométer levegőt. Súlya 1 300 000 000 kg. Ha a koczkában a levegő sűrűsége akkora lenne, mint a világegyetem anyagának átlagos sűrűsége, akkor a koczka levegője a milligrammnak csak 10 000 milliomodrésze volna. Ez pedig semmi a különálló égitesteknek fogalmaink szerint óriási tömegéhez képest. A legkisebb anyagrészecske az atom. A hidrogén-atom átmérője körülbelül 0.2 milliomod milliméter, tömege 1.6 quadrilliomod gramm. A köbkilométerben tehát csak 160 000 millió atom lenne, 1 köbméterben pedig csak 160 atom. Minden 5 literre jutna átlag 1 atom.

Még ha ez az eredmény százszor, vagy ezerszer hibás volna is, az sem változtatna azon a következtetésen, hogy az anyag, a melyhez a mi létünk kapcsolódik és a mely a világegyetemben megfoghatatlanul égitestekké tömörül, elenyésző a tér nagyságához képest.

## PÓTLÁSOK.

Az asztrofizikai kutatások olyan gyorsan haladnak, hogy adataink alig néhány év múlva a könyv megírása óta már nem egyeznek az újabb ismeretekkel. Ezért néhány újabb fontos és általános érdekű eredményt még megemlítünk.

### 1. A fotografiai fotometrálás. (377. lap.)

SCHWARZSCHILD vizsgálatai általános érvényű törvényekre vezettek, a melyek egyrészt a fényerősségnek és az exponálás idejének összefüggését mutatják. Úgy látszik, felületeknek fotografiai összehasonlításánál is sikerült nagyobb pontosságot elérni, mint a közvetetlen módszereknél. SCHWARZSCHILD az így készült aktinometriának, vagyis a csillagok fényességjegyzékének egy részét már közölte.

## 2. A napfoltok színeképe. (422. lap.)

HALE nagyon fontos fölfedezésre jutott. Különösen a vas és titán vonalainál azt találta, hogy részben kettősek, részben hármasak, még pedig a Nap korongjának közepén kettősek, szélén hármasak. Ezt a jelenséget a ZEEMAN-féle hatás alapján kell magyarázni azzal a föltevessel, hogy a napfoltokban sűrűn észlelt örvények gázai elektromos töltésűek. Akkor az örvénylő mozgás következtében elektromágneses tér keletkezik. A napkorong közepén a látósugár párhuzamos az erővonalakkal, a szélén merőleges rá. A vonalak ennek megfelelően bomlanak föl. Már azt is megkísérelték, hogy ezeknek a napbeli mágneses tereknek erősségét meghatározzák.

A 173. lapon tett megjegyzésünk tehát váratlanul hamar beigazolódott: »a ZEEMAN-féle jelenséget az asztrofizikában még nem alkalmazták, de éppen nem lehetetlen, hogy még nagy jelentősége lesz«.

Általában a napfoltok színeképének pontos és tökéletesített vizsgálata lényeges döntésre vezetett. Ugyanis ADAMS szerint a vonalak erősödése és gyengülése a foltok alacsonyabb hőmérsékletének következménye. Ha a foltok színeképében a vonalak kiszélesednek anélkül, hogy erősségük változnék, akkor ennek biztosan a ZEEMAN-féle jelenség az oka.

A napfoltok színeképében a legtöbb vonalakra fölbontható sávot titánoxid, magnéziumhidrid és kalciumhidrid jelenlétével lehet magyarázni.

## 3. A Nap hőmérséklete. (533. lap.)

ABBOT és FOWLE az egész sugárzás pirometrikus méréseiből  $5962^{\circ}$ -ot találtak, spektrobolométriái mérésekből a PLANCK-féle egyenlet fölhasználásával  $5990^{\circ}$ -ot, ellenben a WIEN-féle eltolódás-egyenletből kissé nagyobb értéket,  $6770^{\circ}$ -ot.

WILSING és SCHEINER azokból a spektrálfotométriái mérésekből, a melyeket a csillagok hőmérsékletének meghatározására végeztek,  $5130^{\circ}$ -ot kaptak. De ha PLANCK egyenletében az állandó újabb értékét ( $C = 14\,200$ , a régebbi  $14\,600$  helyett) használjuk, akkor a hőmérséklet  $5500^{\circ}$ . Látjuk tehát, hogy most is érvényes az a megjegyzésünk, hogy a Nap effektív hőmérsékletét elég pontosan ismerjük.



#### 4. A Hold. (586. lap.)

Eddig egyáltalában nem vizsgálták a Hold felületének visszaverő képességét és ezzel kapcsolatban ásványtani összetételét. Csak az albedo meghatározására szorítkoztak.

Újban ezt a feladatot többen igyekeztek megoldani, először WILSING és SCHEINER a spektrofotométer segítségével. A Hold felületének világos és sötét részeit külön vizsgálták és a Hold színképének viszonylagos fényességét mindig összehasonlították a Nap színképének fényességével. Így megállapították, hogyan változik a Nap színképe, mikor fénye a Hold felületén visszaverődik. A változás elég jelentékeny. A vörös és sárga nagyobb mértékben verődik vissza a Holdról, mint a kék és ibolya, tehát a Holdfény sárgásabb, mint a Napfény. A különbség a Hold világos és sötét részei között olyan csekély volt, hogy biztosan meg sem lehetett állapítani. Az összes visszaverődés a világosabb részeken természetesen sokkal nagyobb volt, mint a sötéteken. A visszaverőképeség az egyes hullámhosszaknál százalékban kifejezve a következő volt:

$\lambda = 0.448$	0.480	0.513	0.584	0.638
% = 60	63	63	87	100

Hasonló módon meghatározták a visszaverődés együtthatóját körülbelül 30 olyan ásványon, a mely a Föld felületén a leggyakrabban fordul elő, még pedig úgy, mint a Holdon, valóságos albedójuk tekintetbevételével. Mikor a Hold és az ásványok visszaverődésének együtthatóját összehasonlították, 26 ásványt mindjárt ki kellett zárni, tehát 4 olyan ásvány maradt, a melynek fényvisszaverődése egyezik a Holdon keletkező visszaverődéssel. Ezek a Vezuv hamuja, a Vezuv lávája, a folyók homokja és az agyag. Az a föltevés, hogy a sötét tengerek főleg lávából állnak, a hegyeknek világos lejtője pedig vulkáni hamuból, legjobban egyeztethető össze a megfigyelésekkel. De ezekből az első megfigyelésekből nem lehet más következtetést vonni, csak azt, hogy a Hold felülete olyan anyagokból áll, a melyeknek visszaverőképesége az előbbi anyagokéval majdnem egyenlő.

MIETHE újban más úton igyekezett eredményre jutni. A visszaverődés együtthatói annál inkább különböznek egymástól, mennél

nagyobb a megfelelő színek. Ezért már WOOD ibolyántúli és közönséges fényben lefotografálta a Holdat és azt találta, hogy az Aristarchos közelében olyan folt van, a mely föltűnően kevés ibolyántúli fényt bocsát ki. MIETHE olyan kétféle fényben fotografálta le a Holdat, a melynél a színek igen nagy. Az egyiknek hullámhossza  $0.33 \mu$  volt (ibolyántúli), a másiké  $0.65 \mu$  (vörösöntúli). A fáradtságos fotometriai kimérés helyett, a mely számokban kifejezhető eredményre vezet, kevésbé pontos vetítő eljárást használt. Mind a két képet közös ernyőre vetítette, még pedig az egyiket vörös, a másikat zöld lemezen át. Ekkor nagyjából szürke kép keletkezik. De egyes helyek vöröses, vagy zöldes színezésűek. Ezeken a helyeken a vörösöntúli, illetőleg az ibolyántúli visszaverődés van túlsúlyban. Ilyen különbségek csak a tengerekben látszanak, a hegyes vidékeken nem. Ezt MIETHE úgy magyarázza, hogy a tengerekben igen erős, de kis kiterjedésű petrográfiai különbségek vannak.

A Nap változó magassága nagyon észrevehetően módosítja a Hold külső képét, különösen a tengereket. Alacsony állásnál az árnyékvetés következtében sok egyenetlenség mutatkozik bennük. Mikor a Nap magasan van, a tengerek általában sötétebbek, nagyszámú folt és sáv világosan tűnik föl, de nem mindig esik össze a talajnak előbbi, valóságos emelkedésével és mélyedésével.

EBERT hasonló jelenségeket olyan üveglapon is észlelt, a mely mint tökéletlen törésfelület a levegő hatása következtében idővel érdes és kristályos lett és mechanikus eredetű egyenetlenségek is voltak rajta. EBERT a felületet üvegporral gyengén behintette. A beeső fény irányának változásakor egészen olyan jelenségek mutatkoztak, mint a Holdon. Lényeges, hogy a felület üvegszerű legyen. Az egyszerű magyarázat az, hogy a felület részben áttetsző, részben szétszórja a fényt. EBERT azt következtette, hogy a sötét tengereket lávaszerű anyag borította be, a mely a hirtelen lehűlés miatt üveges anyaggá merevedett.

## 5. A csillagok színeképi csoportjai. (690. lap.)

A színeképeket még tovább fölosztották, mindig avval a szándékkal, hogy a csillagok fejlődésének menetét mennél pontosabban megállapítsák. Alapul mindig a leginkább feltűnő elemnek növe-



kedését és későbbi csökkenését vették. Amerikai csillagászok megkísérelték, hogy a beosztás rendszerére nézve nemzetközi megállapodást létesítsenek.

## 6. Az állócsillagok hőmérséklete. (722. lap.)

WILSING és SCHEINER időközben befejezték spektrofotometriai vizsgálataikat és nagyobb pontosságot értek el, mint várni lehetett volna. Különböző színképcsoportba tartozó 109 fényesebb csillag hőmérsékletét jegyzékbe foglalták. A középértékeket alább közöljük, még pedig a PLANCK-féle állandók kétféle értékénél (lásd a Pótlások 3. pontját a 825. lapon):

Színképcsoport	Hőmérséklet	
	$c = 14\,600$	$c = 14\,200$
I. $a_1$	9 600 <sup>0</sup>	11 600
I. $a_2$	8 700	10 300
I. $a_3$ — II. $a$	6 300	7 100
I. $b$	9 500	11 500
II. $a$	5 400	5 900
II. $a$ — III.	4 000	4 200
III.	3 200	3 300

A színképcsoport függése a hőmérséklettől igen világosan látszik. A tiszta I. színképcsoport (Ia. és Ib.) csillagai a legmelegebbek, hőmérsékletük kereken 10 000<sup>0</sup>. A III. csoportban a hőmérséklet kereken 3 000<sup>0</sup>-ra csökken. Ezáltal közvetlenül igazoltuk az előbbi közvetett módszereket (a magnézium-vonalak, vegyületek jelenléte a III. csoportban).

## 7. Spektroszkópi kettőscsillagok. (743. lap.)

A spektroszkópi kettőscsillagokra vonatkozó ismereteink 1910-ig rendkívül gyorsan fejlődtek, még pedig közvetetlen megismerésükben és más csillagászati jelenségekhez való viszonyukban egyaránt. Ilyenek pl. eloszlásuk az égbolton, a parallaxis, saját mozgásuk, színképük. Most csak néhány statisztikai adatra szorítkozunk, mert lehetetlen itt mindenre kitérnünk.

Az ismeretes kettős rendszerek száma 1905 elején 149 volt, 1910-ben már 306. 1905-ben körülbelül 20 esetben ismerték a pályaelemeket, most 70 rendszernél.

### 8. A gázok hőmérsékleti sugárzása.

Sok fizikussal ellentétben ebben a könyvben azt a fölfogást vallottuk, hogy a gázoknak is van hőmérsékleti sugárzásuk és hogy a gázok, ha különböző okok következtében izzanak, nem annyira az izzítás módjának eltérése miatt keltenek más színeképet, hanem a hőmérsékleti különbség miatt. Az utóbbi években ezen a nehéz téren lényegesen előre jutottak és a mi fölfogásunkat igazolták. A Mount Wilson-csillagvizsgálóban különböző fémek gőzeit elektromos kemenczében magas hőmérsékletre hevítették, de sem elektromos, sem vegyi okok a gázokat világításra nem indították, hanem csak a hőmérséklet emelése hatott. A megvizsgált gőzök mindig ugyanazt a színeképet keltették, mint mikor közönséges módon jöttek izzásba.

Azonkívül spektrofotometriai megfigyelések azt mutatták, hogy az összetartozó vonalcsoportok fényessége majdnem úgy viselkedik, a mint a fekete testek sugárzására érvényes PLANCK-féle egyenlet kívánja. Kétségtelen tehát, hogy a KIRCHHOFF-féle törvény és a KIRCHHOFF-féle függvény legalább közelítőleg gázokra is érvényes. Fizikailag ezt a jelenséget úgy lehetne értelmezni, hogy a fénykeltésnek többféle módja van ugyan, a melyet a magas hőmérsékletek okoznak, de végső eredményben csakis a hőmérséklet irányadó.



THE UNIVERSITY OF CHICAGO  
LIBRARY  
540 EAST 57TH STREET  
CHICAGO, ILL. 60637

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

The University of Chicago is a private research university in Chicago, Illinois. It was founded in 1837 as the first American university to be organized on the European model, with a focus on research and scholarship. The university has a long history of academic excellence and has produced many notable alumni, including several Nobel laureates. The University of Chicago is known for its rigorous academic standards and its commitment to intellectual freedom. It has a large endowment and a strong reputation in the fields of science, medicine, and the humanities. The university is also known for its diverse student body and its commitment to social justice and public service.

The University of Chicago is a private research university in Chicago, Illinois. It was founded in 1837 as the first American university to be organized on the European model, with a focus on research and scholarship. The university has a long history of academic excellence and has produced many notable alumni, including several Nobel laureates. The University of Chicago is known for its rigorous academic standards and its commitment to intellectual freedom. It has a large endowment and a strong reputation in the fields of science, medicine, and the humanities. The university is also known for its diverse student body and its commitment to social justice and public service.

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

The University of Chicago is a private research university in Chicago, Illinois. It was founded in 1837 as the first American university to be organized on the European model, with a focus on research and scholarship. The university has a long history of academic excellence and has produced many notable alumni, including several Nobel laureates. The University of Chicago is known for its rigorous academic standards and its commitment to intellectual freedom. It has a large endowment and a strong reputation in the fields of science, medicine, and the humanities. The university is also known for its diverse student body and its commitment to social justice and public service.

## BETŰRENDES TÁRGYMUTATÓ.

### A

Aberratio, kromatikus 49  
 — szferikus 43  
 — szferikus és kromatikus 328  
 Absorptio, l. *Fényelnyelés*  
 Achromatikus lencsék 49, 329  
 Aether 13  
 Aktinométer 288  
 — Pouilliet-féle 288  
 Albedo 225  
 Algol 735, 811  
 Algol-típusú csillagok 812  
 Alkalikus földek 192  
 Alkalmazkodó képesség 47  
 Aluminium 196  
 Andromeda-kód 817  
 — -rendszer 818  
 Ångström-féle egység 122  
 Anizotróp testek 36  
 Apex 730  
 — deklinációja 730  
 Antimon 200  
 $\alpha$  Aquilae 790  
 $\gamma$  Aquilae 811  
 Arany 192  
 Argelander-féle fokbecslés 267  
 Argon 189  
 Argus-ködfolt 660  
 Arzén 199  
 Asztigmatizmus 68  
 Asztrofizika 1  
 — élettani alapjai 9  
 — és asztronómia közti határvonal 4  
 — fizikai alapjai 9

Asztrofizikai kutatások eredményei 391  
 Asztrofizika módszerei 7  
 Asztrométer 241  
 Asztronómia és asztrofizika közti határvonal 4  
 Atlas coelestis novus 791  
 Atómsúly 179  
 $\alpha$  Aurigae 783  
 $\beta$  Aurigae 737

### Á

Állatövi fény 559, 650  
 Állócsillagok 683  
 — fotografiai vizsgálata 813  
 — fotométeriai eredmények Á.-ról 792  
 — hőmérséklete 722, 828  
 — lehűlése 722  
 — mozgása 725  
 — osztályozása 685  
 — színképe 683  
 Árnyékfotométer 239

### B

BALMER-féle sorozat 169  
 Barázdák a Holdon 578  
 Baryum 194  
 Bayer-féle jelölések 805  
 Beryllium 193  
 Bevezetés 1  
 Birmingham-féle csillag 748  
 Bizmut 200  
 Bolométer 156, 294  
 Bolygók 559



Bolygók fizikai tulajdonságai 624

— kis bolygók 602

Bonni katalógus 794

Bór 195

Bróm 203

Brómezüstlemez 306

— érzékenysége 310

## C

Caesium 191

Cape Photographic Durchmusterung  
795

$\mu$  Cassiopeiae 732

$\delta$  Cephei 811

$\mu$  Cephei 812

Cerium 197

$\alpha$  Ceti 784

Chandler-féle katalógus 806

$\gamma$  Cygni 812

Czélzás, tökéletlen 361

## Cs

Csillagászati fotográfia 301

Csillageloszlás színek szerint 717

Csillaghalmazok 820

Csillagkatalógus Argelander-féle 793

— fotográfiai 795

— Gould-féle 793

Csillagkatalógusok 794

Csillagkorong intenzitásgörbéje 384

— készítése 380

— Szolarizáció cs.-oknál 382

Csillagok célbantartása 341

— fotogr. fotometrála 377

— pislogása 109

— színképi csoportjai 828

— Új csillagok 745

— Változó cs. 803

Csillagspektrográf, MILLS-féle 120

— potsdami obszervatóriumé 118

Csillagspektrográfok 105

Csillagspektrométerek 104

Csillagspektroszkóp fajtái 101

— LICK-obszervatóriumé 115

— SECCHI-féle 113

Csillagszínképek:

I. a. osztálya 690

I. b. » 691

I. c. » 691

II. a. » 699

II. b. » 700

III. a. » 704

III. b. » 708

Csillagszínképek, eltérő cs. 784

Csillagszínkép-típusok eloszlásának  
magyarázata 717

## D

Diafragma elv 263

Diffrakciós rács 126

— korong 323

DOPPLER-FIZEAU-féle elv 164

DRAPER-féle törvény 151

## E

Efemerisz 634

Effektív hő 284

— naphőmérséklet meghatározása 295

Egyéni mérési hibák 66

Elektromosság 550

Elemek periodusos rendszere 179

Elemek színképei 175

Elfáradás 62

Elhajlító rács 126

Eltérés, délköri 68

— gömbi 43, 384

— színi 98

Emulziós eljárás 305

Energia-egyenlet 157

Erbium 202

Ereződés 107

Europium 204

Ezüst 192

## É

Égi fotográfia 4

Ékfotométer 266

Érdes felületek 223

Északi fény 548

Éter 13

## F

FECHNER-féle törvény 212  
 Fekete test 149  
 Fényátbocsátó közeg 26  
 Fényáthatatlan testek 31  
 Fényelhajlás 18, 123  
 Fényelnyelés 225, 277  
 — a Jupiter légkörében 610  
 — szelektív 277  
 Fényelnyelési együttható 225  
 Fényerősség 214, 326  
 Fényegység 232  
 Fényesség, látszólagos 216  
 — valóságos 227  
 — skála 794  
 Fénygyöngítés módjai 234  
 Fénykeltés módja 176  
 — módjának hatása a színekpre 136  
 Fénykioltás 277  
 — légköri 281  
 Fény munkája 375  
 Fény nyomása 643  
 Fényrezgések 14  
 Fénysarkítás 33, 248  
 — elliptikus 35  
 — vonalas 35  
 Fénysugár 3  
 — természetes 32  
 Fényszórás 29  
 Fényszóródás, légköri 279  
 Fénytan elemei 39  
 Fénytörés 27  
 — planparallel lemeznél 39  
 — prizmánál 40  
 Fény útja 39  
 Fényveszteség 333  
 Fényvisszaverődés 30  
 Fényvisszaverő rácsok 130  
 Flasch-spektrum 456  
 Fluor 202  
 Fokbecslés 267  
 Folt-fotométer 239  
 Foltképződés 807  
 Folt-föltevés 808  
 Foszfor 199

Fotografia, csillagászati 301  
 — Égi f.-ák tudományos értékesítése 355  
 Fotografiai csillagtérkép 795  
 — csillagkatalógusok 795  
 — eredmények az állócsillagok vizsgálatában 813  
 — fotometrálas 825  
 — fotometria 372  
 — képek előidézése 308  
 — » erősítése 320  
 — » keletkezése 302  
 — » másolása 319  
 — » retusálása 321  
 — műszerek optikai részei 321  
 — refraktor 346  
 — regisztráló módok 366  
 — távcsövek 340  
 — technika 302  
 Fotométer, ARAGO-féle 251  
 — BOUGUER-féle 237, 245  
 — BUNSEN-féle 239  
 — extinkciós 262  
 — fényelnyelő közeggel 247  
 — fényelnyeléses 264  
 — forgókorongos 246  
 — HERSCHEL-féle 241  
 — HUMBOLDT-féle 245  
 — KNOBEL-féle 264  
 — KÖHLER-féle 263  
 — LAMBERT-féle 239  
 — LUMMER-BRODHUN-féle 240  
 — PARKHURST-féle 264  
 — PICKERING-féle 259  
 — polarizációs 248  
 — RITCHIE-féle 238  
 — RUMFORD-féle 239  
 — SCHWERD-féle 245  
 — SEARLE-féle 246  
 — STEINHEIL-féle 242  
 — színekfotométer 269  
 — TOEPFER-féle 266  
 — tükröző felülettel 247  
 — WILD-féle 29  
 — ZÖLLNER-féle 252  
 — 1. Színekfotométer alatt is



Fotométerek 237  
 Fotometrálas 377, 824  
 Fotométria 207  
 — fotografiai F. 372, 824  
 — föltétele 217  
 — optikai 373  
 — pszicho-fizikai alaptörvénye 212  
 Fotométriai egységek 230  
 — elméletek 207  
 — műszerek 234  
 Fotoszféra 396  
 — forgása 435  
 — fölött végbemenő folyamatok  
 elmélete 522  
 — hőmérséklete 533  
 — vastagsága 554  
 Földi áramok 549  
 Földmágnesség elemei 545  
 — változásai 548  
 Földrajzi hosszúság meghatározása  
 371

## G

Gadolinium 204  
 Gallium 196  
 Gáznemű ködfoltok 655  
 Gázok hőmérsékleti sugárzása 829  
 $\alpha$  Geminorum 739  
 U Geminorum 806  
 Geodézia 1  
 Germanium 198  
 Gömbi eltérés 43, 384  
 Gömbi tükör 51  
 GOULD-féle katalógus 797  
 1830 Groombridge 734  
 GYLDÉN elmélete 809

## H

Halmazállapot 136  
 HARVARD Photometry 802  
 Hattyú-ködfolt 664  
 HEFNER-ALTENECK-féle normál-  
 lámpa 232  
 Héliográf 351  
 Heliosztát-tükör 352  
 Helymeghatározás fotogr. úton 370

Hengerlencse 97  
 Z Herculis 812  
 Hidrogén 188  
 — -vonalak, BALMER-féle sorozat 169  
 Higany 195  
 Hold 567, 826  
 Holdak 559  
 Hold hatása a Földre 586  
 Holdkráter 574  
 Holdkráterek eredete 580  
 Holmium 200  
 Homocentrikus képkeletkezés 74  
 H $\delta$  9, 14  
 Hőmérséklet mérése 9  
 Hullámhosszúság meghatározása 121  
 — — rácsokkal 122  
 — mérése interferencia segítségével 127  
 Hullócsillagok 646  
 HUMPHREYS kísérletei 769

## I

Indium 196  
 Intenzitás 214  
 Iridium 204  
 Izotróp testek 36  
 Izzó gáz 138

## J

Jód 203  
 Jupiter 608  
 — holdjai 616

## K

Kadmium 195  
 Kalcium 193  
 — -folt 429  
 — -pelyhek 431  
 Kálium 191  
 Káprázás 62  
 KAPTEYN-féle jelenség 798  
 KAYSER elmélete 767  
 Kettős csillagok 743, 828  
 — törés 37  
 — vonalak magyarázata 773  
 Kén 201

Kép keletkezése 44  
 — megfordítása 41  
 — -torzulás 323, 357  
 Kéveprotuberancia 453.  
 KIRCHHOFF-féle függvény 132  
 — törvény 132  
 Kis bolygók 602  
 Klór 202  
 Kobalt 203  
 Kollimáció 55  
 Kollimátor és prizma 81  
 Kollódiumos eljárás 305  
 Korona alakjának oka 527  
 Koronaelmélet, EBERT-féle 530  
 — SCHAEBERLE-féle 527  
 Ködfoltfotografiák 659  
 Ködfoltok 653  
 — fényessége 674  
 — fényességváltozása 677  
 — fotometrálása 673  
 — mozgása 679  
 — nagyságrendje 675  
 Ködfoltok parallaxisa 680  
 — színeképe 665  
 — távolsága 680  
 Közellátás 47  
 Kráter, Elsüllyedt K.-ek a Holdon 577  
 Krátertenger 576  
 Kripton 190  
 Króm 200  
 Kromoszféra színeképe 438

## L

LALANDE megfigyelései 796  
 LAMBERT-féle föltételek 210  
 — -LOMMEL-féle törvény 410  
 Lanthanium 196  
 Látás, élettani alapjai 57  
 Látástávolság, rendes 47  
 Lemez kimérése 362  
 — kiméréséhez való műszerek 365  
 Lencse, achromatikus 49, 329  
 — egyszerű 44  
 — hibái 331  
 — homorú 48  
 — negatív 48

Lencse optikai 42  
 — pozitív 44  
 — színtelenítő 49  
 Levegő nyugtalansága 107, 337  
 Légkör átlátszósága 282  
 — hatásai 335  
 Légköri állapotok hatása a fotografiai  
 fölvételekre 337  
 Légköri vonalak 417  
 Lick-obszervatórium nagy refraktora  
 115  
 Lithium 190  
 LOMMEL elmélete 765  
 $\beta$  Lyrae 787, 810

## M

Mágneses változások menete 546  
 — viharok 547  
 — zavarok 550  
 Magnézium 193  
 Mangán 202  
 Mars 586  
 Mars-csatornák 593  
 — holdjai 602  
 MAXWELL elmélete 643  
 Megfordító prizma 41  
 Megvilágítás 214  
 Mérés, mikrométerrel 65  
 Mérések, spektroszkópi 85  
 Merkur 560  
 Mérőeszközök 340  
 Meteorok 559  
 Meteorológia 1  
 Meteorrajok 646  
 Métergyertya 232  
 Mikrométer 65  
 Mikroszkóp 54  
 Mira Ceti 784, 806  
 Molybden 200  
 Munkasiker 375  
 MÜLLER és KEMPF-féle katalógus 802

## N

Nagyító üveg 52  
 Nap 393  
 — elektromágneses hatásai a Földre  
 532, 545



Nap elektromos sugárzása 550  
 — A N.-on előforduló elemek 421  
 — Elméletek a N.-ról 474  
 — fényessége 395  
 — Fényességeloszlás a N.-on 408  
 — forgására vonatkozó elméletek 509  
 — hőmérséklete 532, 825, 826  
 — -hőmérséklet meghatározása 295  
 — hőmérsékletének időszakos változása 541  
 — hővesztesége 536  
 — hőveszteségének pótlása 537  
 — -korona 462  
 — — színeképe 471  
 — peremének színeképe 436  
 — sugárzó hőjének mérése 284  
 — szemcsézettsége 396  
 — színeképe 413  
 — tevékenységének időszakossága 509  
 — — időszakosságáról szóló HELMHOLTZ-féle elmélet 513  
 — tevékenységének időszakosságáról szóló WILCZYNSKI-féle elmélet 512  
 Napelmélet, EKHOLM-féle 519  
 — EMDEN-féle 516  
 — FAYE-féle 496  
 — JEWELL-féle 522  
 — JULIUS-féle 504  
 — KIRCHHOFF-féle 478  
 — LANGLEY-féle 497  
 — OPPOLZER-féle 497  
 — SCHMIDT-féle 501  
 — SECCHI-féle 488  
 — YOUNG-féle 497  
 — ZÖLLNER-féle 481  
 Napfáklyák 396, 410  
 — színeképe 426  
 Napfoltok 396, 398  
 — mozgása 400  
 — periodusa 402  
 — száma 403  
 — színeképe 422, 825  
 Nátrium 190

Nemes gázok 189  
 Neodymium 200  
 Neon 189  
 Neptunus 624  
 Nikkel 203  
 Niobium 199  
 Nitrogén 199  
 Normállámpa, HEFNER-féle 232  
 Nova Aquilae 763  
 — Aurigae 753  
 — Carinae 763  
 — Centauri 763  
 — Geminorum 784  
 — Normae 763  
 — Persei 773  
 — Sagittarii 763

## O

Objektív prizma 101  
 Okulárspektroszkópok 103  
 Ólom 198  
 Ón 198  
 Optikai főmetszet 37  
 — lencsék 42  
 — műszerek, legegyszerűbb 51  
 $\eta$  Orionis 739  
 Orion-ködfolt 660  
 Összfényesség 215  
 Oxigén 201  
 Ozmium 204

## P

Palladium 204  
 PEIRCE-féle csillagkatalógus 801  
 Periodosus rendszer 179  
 Photometric Revision of the Durchmusterung 802  
 PICKERING-féle katalógus 802  
 PLANCK-féle energiaegyenlet 157  
 Platina 204  
 — -fényegység 232  
 Plejádok köde 662  
 Polaris 738  
 Poláris fény 33  
 Porvonalak 80  
 Potsdami csillagspektrográf 118

Potsdami fotométriái katalógus 802  
 Praseodymium 199  
 Preliminary Tables 130  
 PRITCHARD-féle katalógus 802  
 PTOLEMAIOSZ-féle csillag-  
   katalógus 793  
 Prizma és kollimátor 81  
   — teljesen visszaverő 40  
 Prizmás fotométer 242  
 Protuberanciák alakja 446, 449  
 Protuberancia spektroszkóp 121  
 ζ Puppis 791  
 Pyrhéliométer 289

## R

Rács 360  
   — fényvisszaverő 130  
   — ROWLAND-féle 130  
 Rádium 194  
 Reflektor 53, 349  
 Refraktor 53  
   — fotografiai 346  
 Regisztráló módszerek 340  
 Rés 79  
 Rétegtorzulás 358  
 Reverziós prizma 41  
 Réz 192  
 Rhodium 204  
 Rianások a Holdon 578  
 ROWLAND-féle rendszer 130  
 Rubidium 191  
 Ruthenium 203

## S

Salak-elmélet 809  
 Samarium 202  
 Sánczkráter 575  
 Sarki fény 548  
 Sarkított fény 33  
 Saturnus 618  
 Sávszínkép 204  
 Scandium 196  
 SCHEINER-féle benzinlámpa 233  
 SCHLICHTER-féle módszer 371  
 Scintillatio 109  
 SEELIGER-féle törvény 225

SEIDEL-féle katalógus 801  
 Silícium 198  
 Sirius 733  
 Spektrográfiai módszerek 111  
 Spektrohéliográf 427  
 Spektrométer 86  
 Spektroszkóp 69  
   — csillagászati 97  
   — egyszerű 76  
   — kollimátoros 77  
   — prizmás 69  
   — rácson 69  
 Spektroszkópi kettős csillagok 734, 828  
   — mérések 85  
   — szétbontás 292  
 Spektrum, l. *Színkép*  
 Spirális ködök 817  
 Strontium 193  
 Sugárrendszerek a Holdon 577  
 Sugárzás 15  
   — kémiai hatása 23  
   — egynemű 21  
   — elektrodinamikai hatása 23  
   — elnyelése 24  
   — -energia 17, 284  
   — fekete 150  
   — föltevések a S.-ról 12  
   — hatásai 22  
   — intenzitása 25  
   — magyarázata 13  
   — mérése 287  
   — oka 12  
   — optikai hatása 22  
   — tana 9  
 Swea 604

## Sz.

Szalagszínkép 204  
 Szelén 202  
 Szem hibái 47  
   — szabályozó készüléke 61  
   — szerkezete 46  
 Személyi egyenlet 66  
   — hibák 362  
 Szén 197  
 Szenzitométer 312



- Szín 32  
Színes testek 32  
Színi eltérés 99  
Színkép, alkalikus főldek 192  
— aluminium 196  
— antimon 200  
— arany 192  
— argon 189  
— arzén 199  
— baryum 194  
— beryllium 193  
— bizmut 200  
— bór 195  
— bróm 203  
— caesium 191  
— cerium 197  
— diffrakziós 125  
— elemeké 175  
— elsőrendű 126  
— erbium 202  
— europium 204  
— ezüst 192  
— fényereje 83  
— fluor 202  
— foszfor 199  
— fotografálása 95  
— gadolinium 209  
— gallium 196  
— germanium 198  
— hélium 189  
— hidrogén 188  
— higany 195  
— holmium 200  
— indium 196  
— iridium 204  
— jód 203  
— kadmium 195  
— kalcium 193  
— kálium 191  
— kén 201  
— klór 202  
— kobalt 203  
— kripton 190  
— króm 200  
— kromoszféráé 438  
— lanthanium 196  
Színkép lithium 190  
— magnézium 193  
— mangán 202  
— másodrendű 126  
— molybden 200  
— napfáklyáké 426  
— napfoltoké 422  
— napkoronáé 471  
— napperemé 436  
— nátrium 190  
— nemes gázok 189  
— neodmium 200  
— neon 189  
— nikkel 203  
— niobium 199  
— nitrogén 199  
— ólom 198  
— ón 198  
— összehasonlító 96  
— oxigén 201  
— ozmium 204  
— palladium 204  
— platina 204  
— praseodinium 199  
— rádium 194  
— réz 192  
— rhodium 204  
— rubidium 191  
— ruthenium 203  
— samarium 202  
— scandium 196  
— silicium 198  
— strontium 193  
— szelén 202  
— szén 197  
— tantalium 199  
— tellúr 202  
— thallium 197  
— thorium 197  
— thulium 203  
— tisztasága 73  
— titanium 197  
— uranium 201  
— vanadium 199  
— vas 203  
— wolfram 200

Színkép xenon 190

- yttrium 196
- ytterbium 196
- zincum 195
- zirkonium 197

Színképek változása 176

Színképelemzés 69

- elmélete 132

Színképelemző készülékek 69

Színképfotométer, ABNEY-FESTING-féle 275

- CROVA-féle 273
- FRAUNHOFER-féle 274
- CLAN-VOGEL-féle 272
- VIERORDT-féle 271

Színképfotométerek 269

Színképi hosszvonalak 80

Színképvonal 75

Színképvonalak eloszlásának törvényszerűségei 168

- görbületsége 75
- száma 186

Színszóródás, rendellenes 173

Szintelenítés 98

Szoláris állandó 295

Szolarizáció 317, 382

Szubjektív világosság 61

## T

Tantalium 199

Tárgylencsék 328

Tárgylencse, szintelenítő 98

Távcső 82

- csillagászati 53
- észlelő 83
- fotografiai T. 340
- földi 54
- hollandiai 54

Távollátás 47

Tejút 815

Tellur 202

Thallium 197

Thorium 197

Thulium 203

Titanium 197

Tükör, domború 51

- homorú 51
  - negatív 51
  - parabolás 50
  - pozitív 51
  - -teleszkóp, ROBERTS-féle 349
- Tükrök, parabolás t. 330
- Tükröző felületek 222

## U

Új csillagok 745

- — lehülése 750

Uranium 201

Uranometria Argentina 793

Uranometria nova Oxoniensis 802

Uranus 623

ξ Ursae majoris 738

Utóképek 62

## Ü

Üstökös csóva 637

Üstökösök 559, 626

- fényessége 634
- színképe 628

## V

Valós kép az emberi szemben 46

Változó csillagok 803

- — neve 805
- — száma 803

Vanadium 199

Vas 203

Vénus 563

Világegyetem anyagmennyisége 822

- sűrűsége 824

Visszaverési együttható 225

Visszaverődés-görbe tükröfelület-ről 50

Vonalkiszélesedés 163

## W

WILSING kísérletei 771

WILSON-féle jelenség 407



WOLF-RAYET-féle csillagok 702

WOLFF Th.-féle katalógus 802

WOLFRAM 200

**X**

Xenon 190

**Y**

Ytterbium 196

Yttrium 196

**Z**

ZEEMANN-féle jelenség 171

Zincum 195

Zirkonium 197

ZÖLLNER-elmélet 767

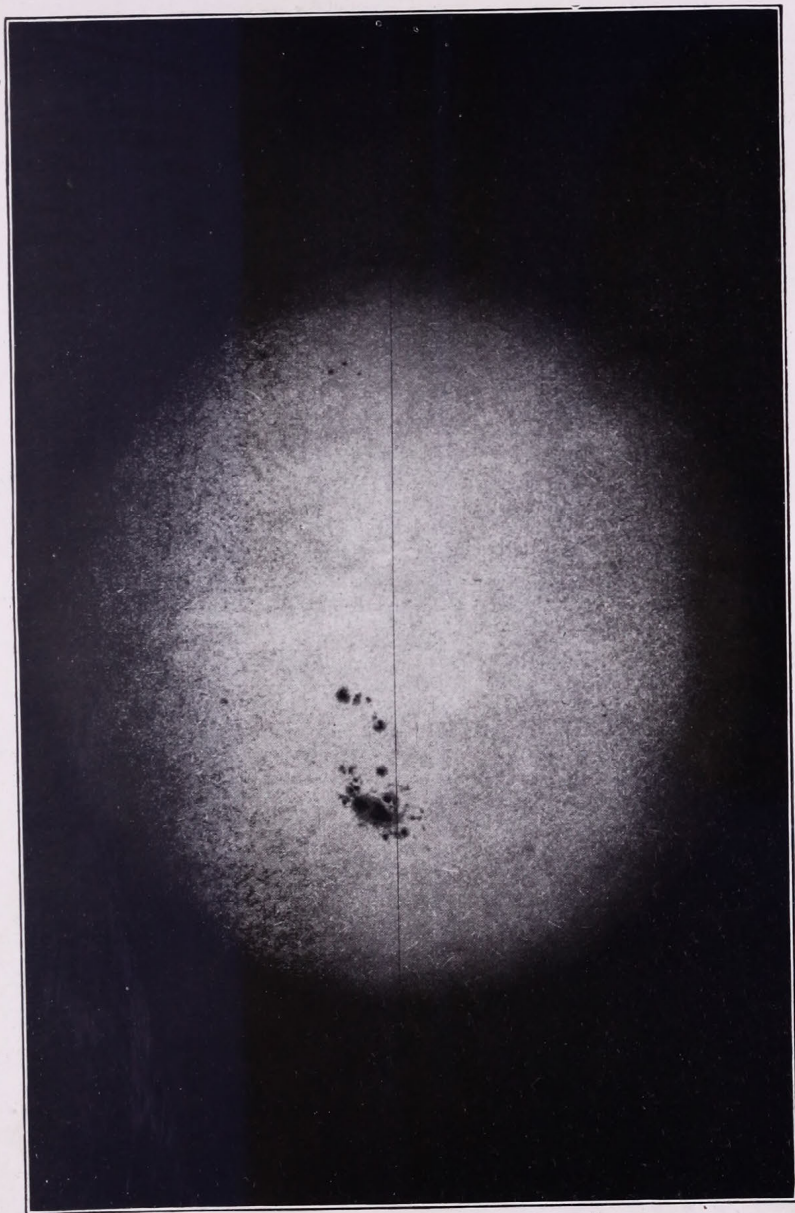
ZÖLLNER-féle katalógus 801

— salakelmélet

ZÖLLNER-GYLDÉN-féle elmélet 808

I. Képmelléklet.

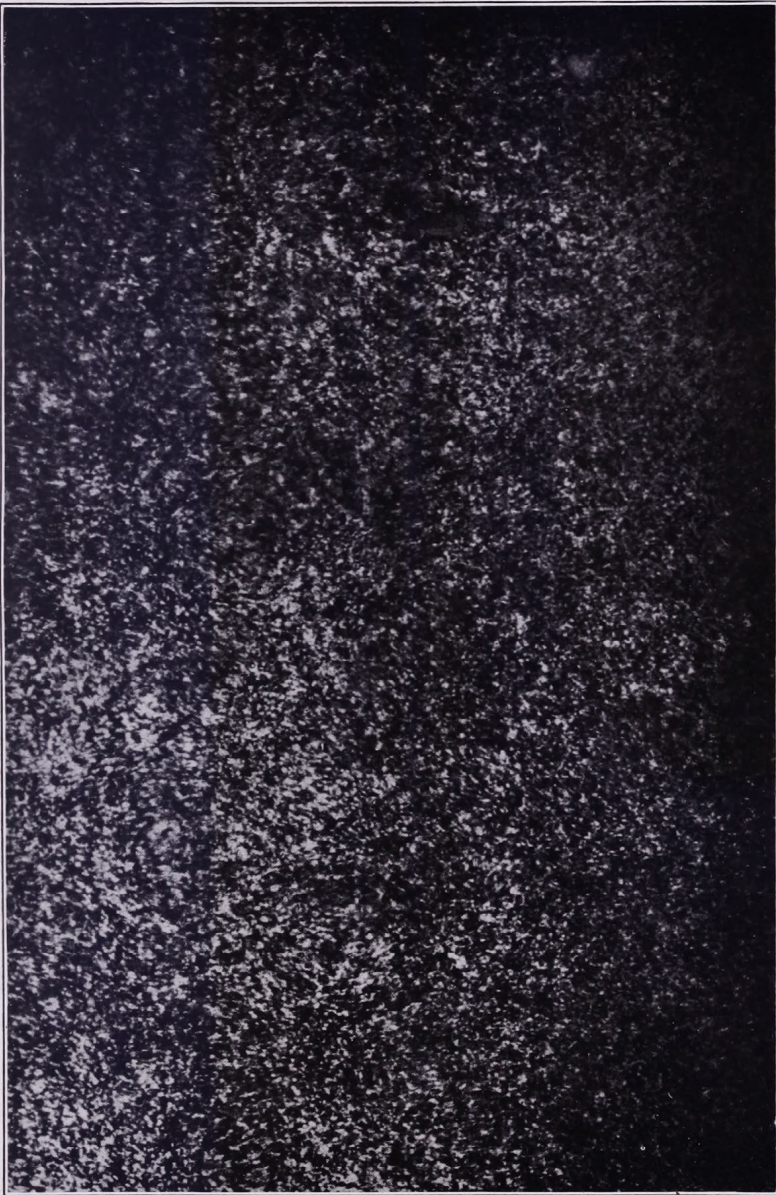
Lohse fotográfiája.



A Nap.







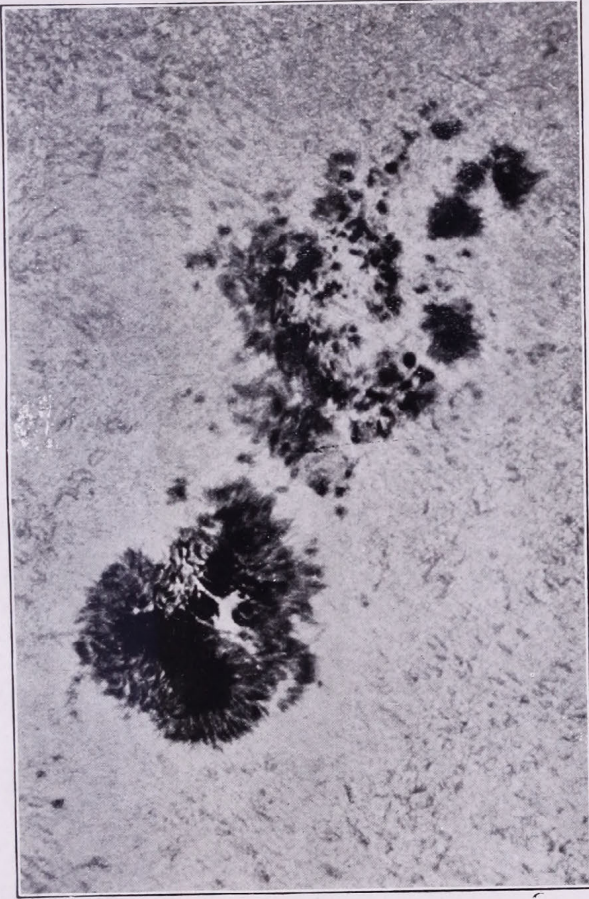
Janssen fotografiája.

A Nap felületének szemecskés szerkezete.





### III. Képmelléklet.



Napfolt.

Janssen fotografiája.





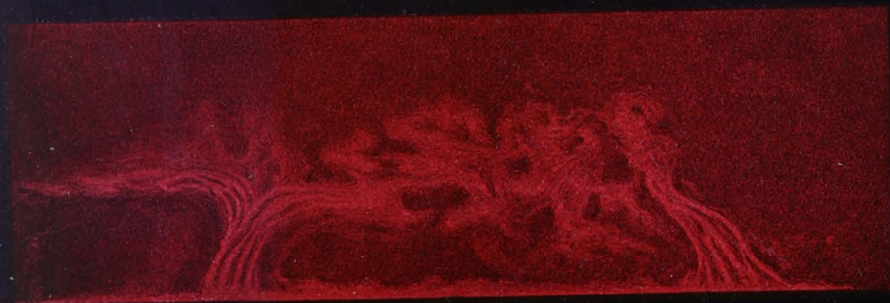
1.



2.



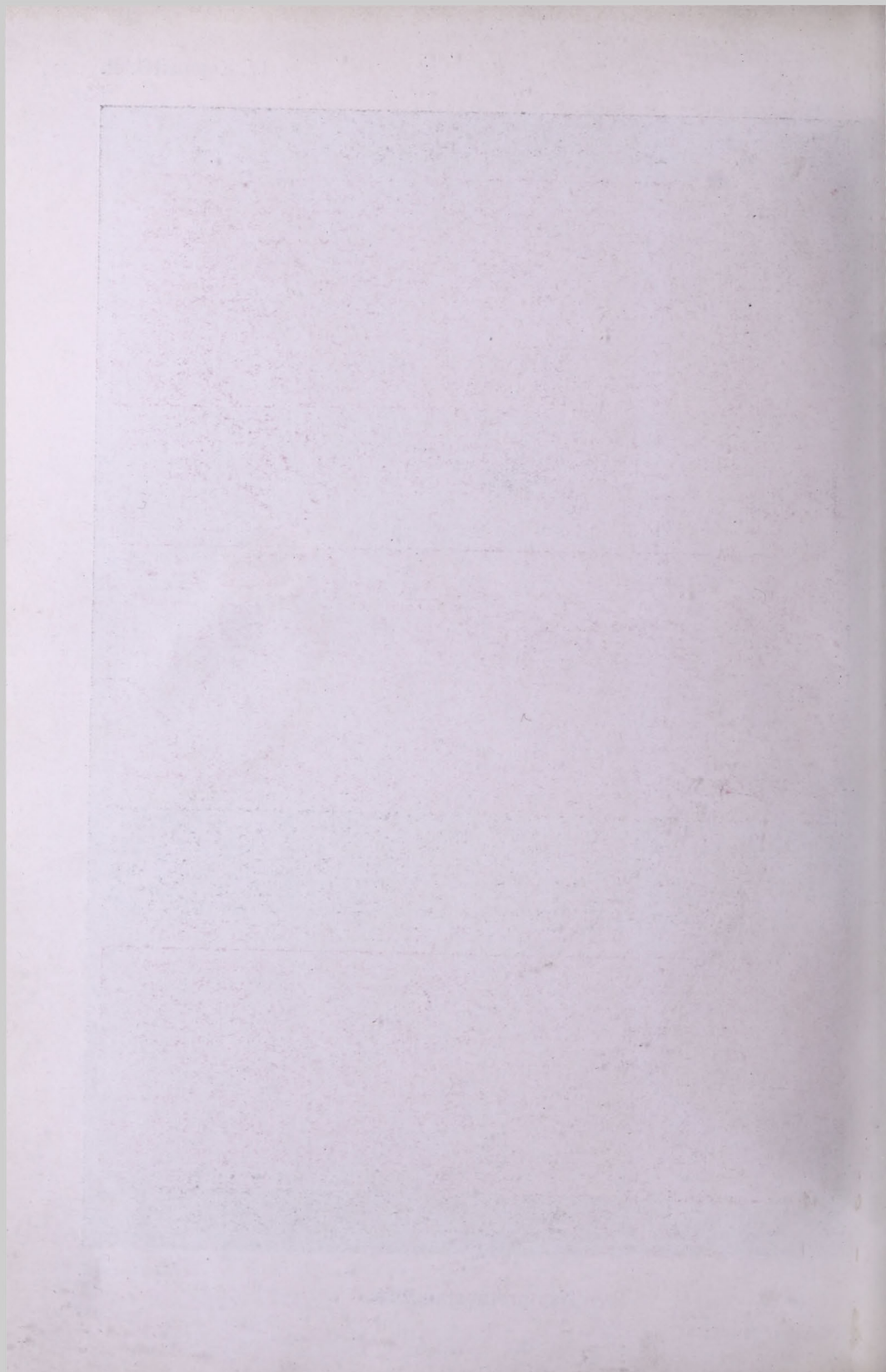
3.



Secchi rajzai.

Nap-protuberanciák.





4.



5.



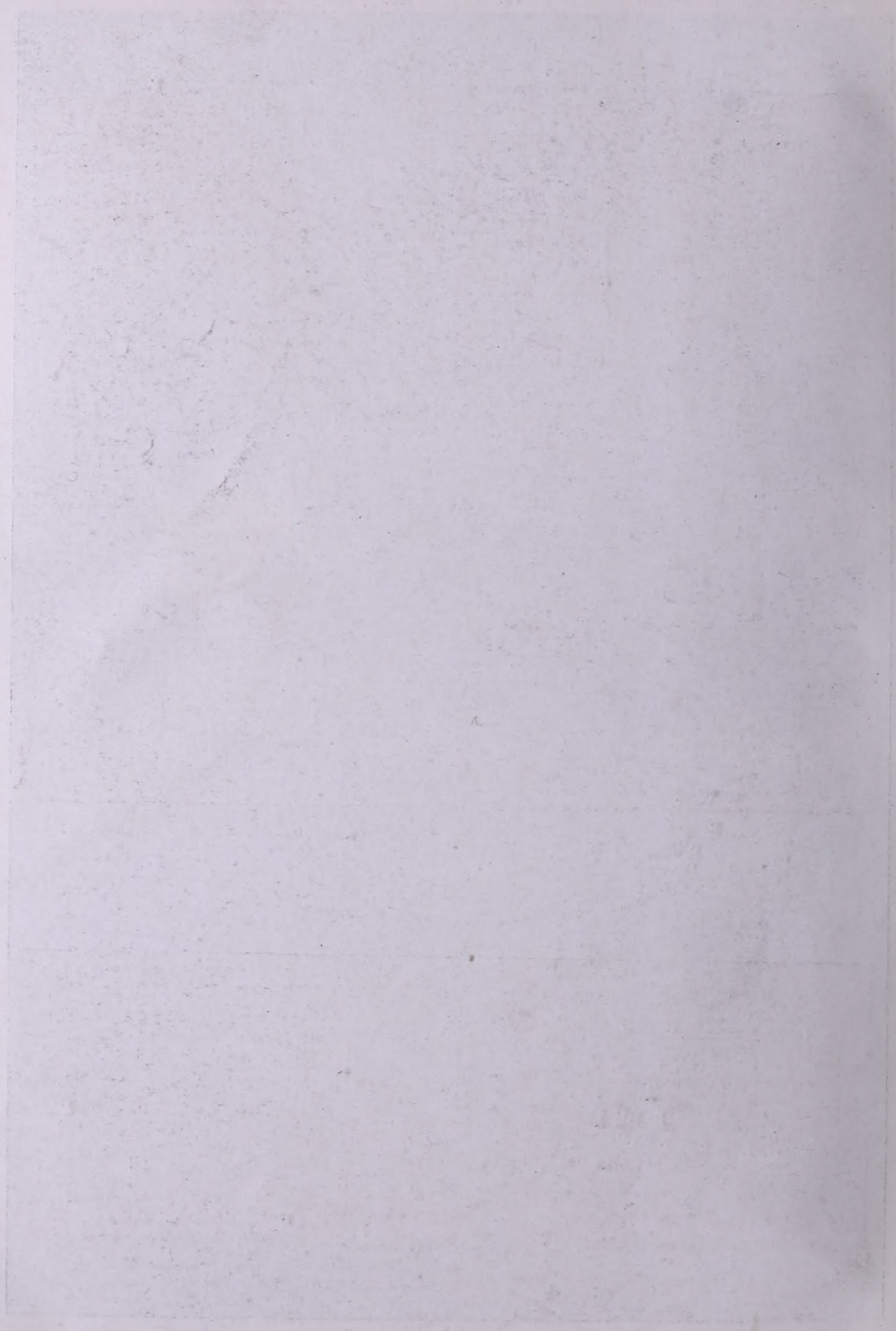
6.



Nap-protuberanciák.

Secchi rajzai.





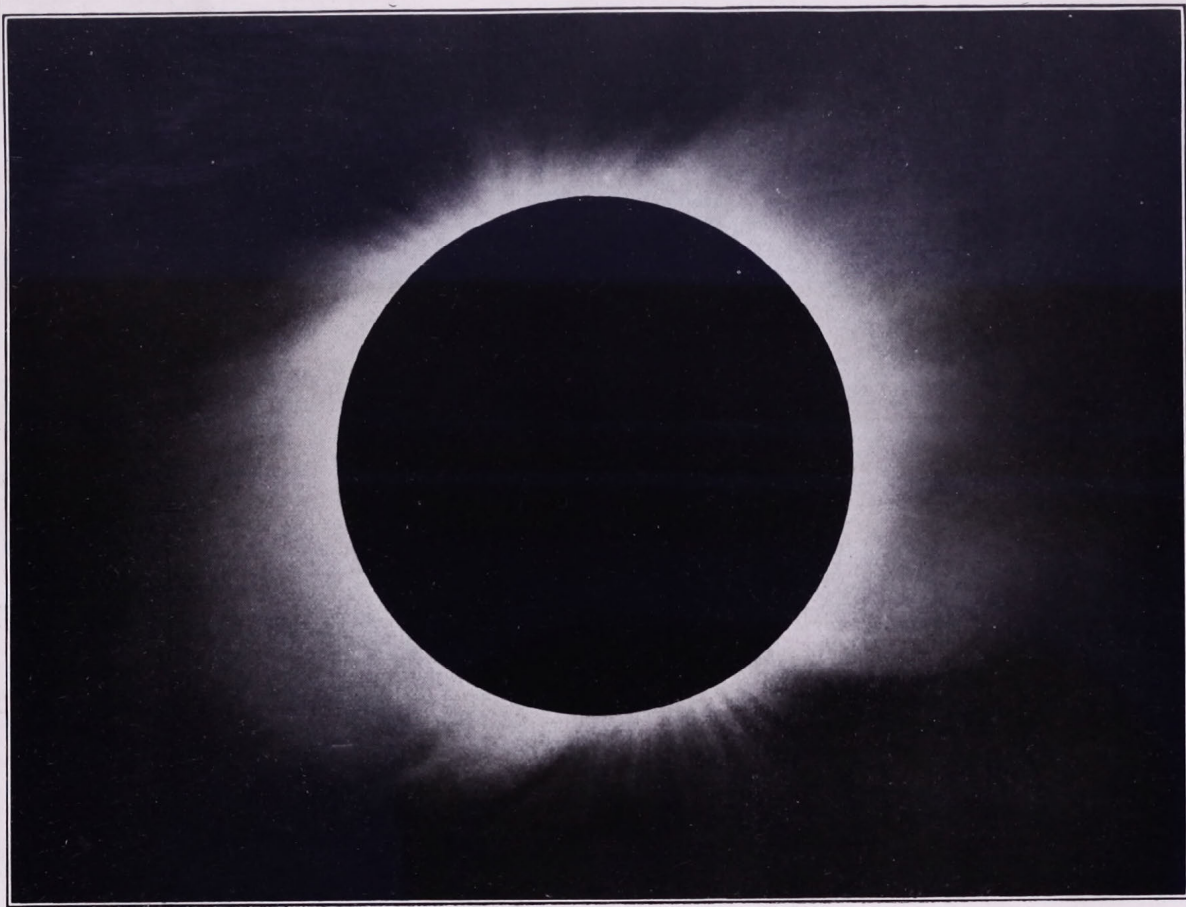


Barnard és Ritchey fotográfiája.

Nap-protuberanciák.







Frost fotográfiája.

A Nap koronája,





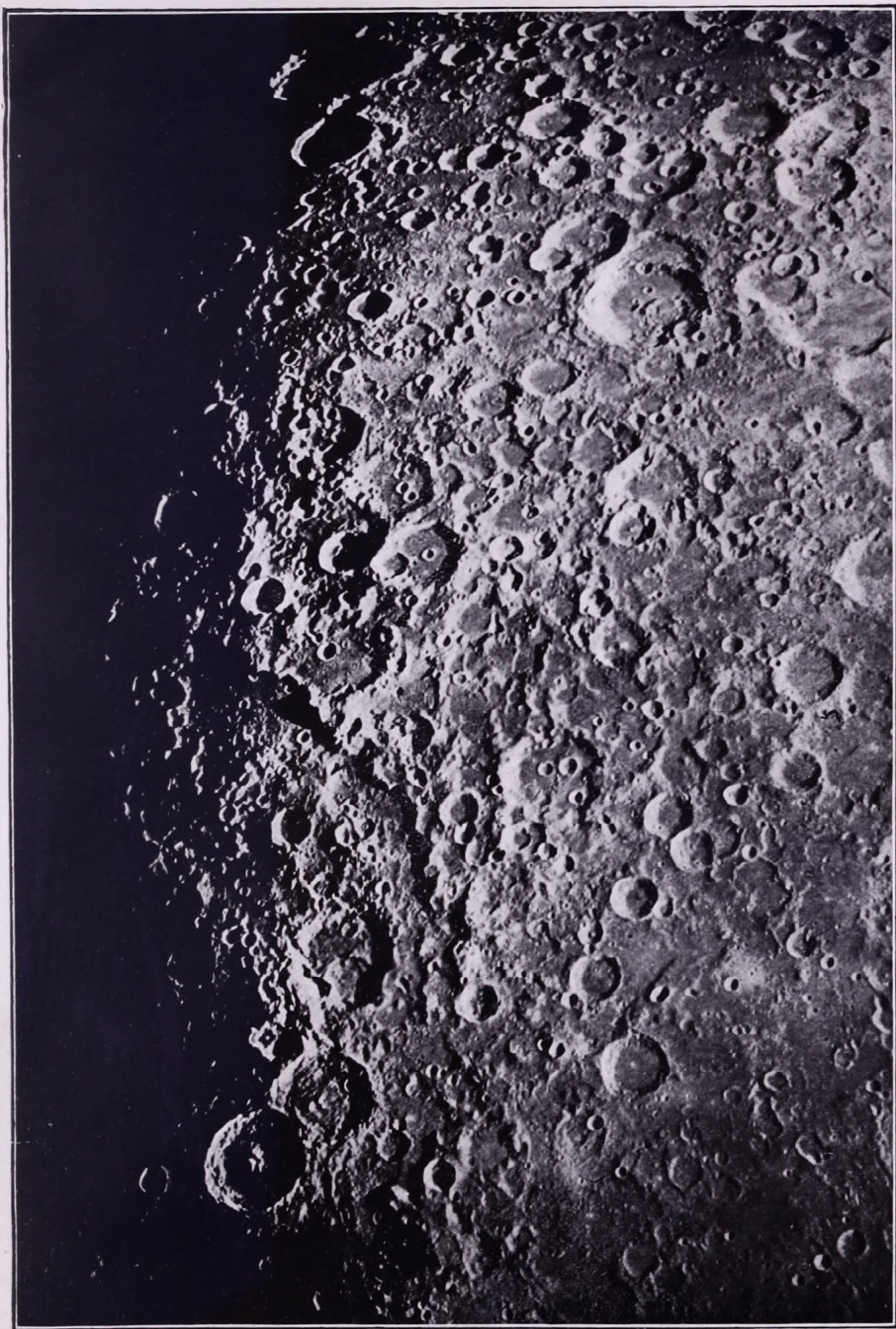


A Hold.

Keeler fotografiája.







Holdkráterek.

Ritchey fotográfiája.





X. Képmelléklet.



Ritchey fotografája.

Az Orion-köd.





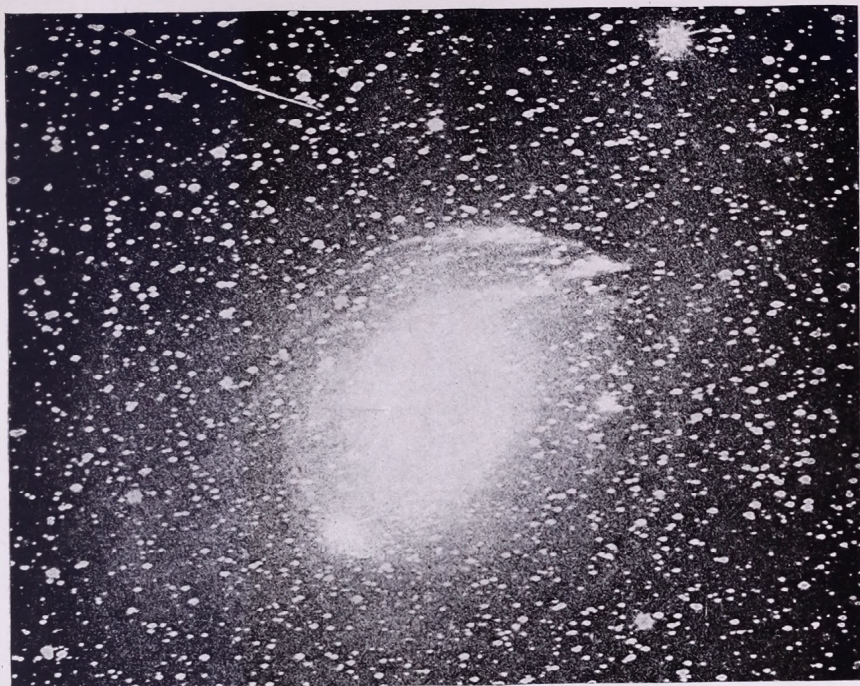


A Plejádok köde.

Ritchey fotográfiája.







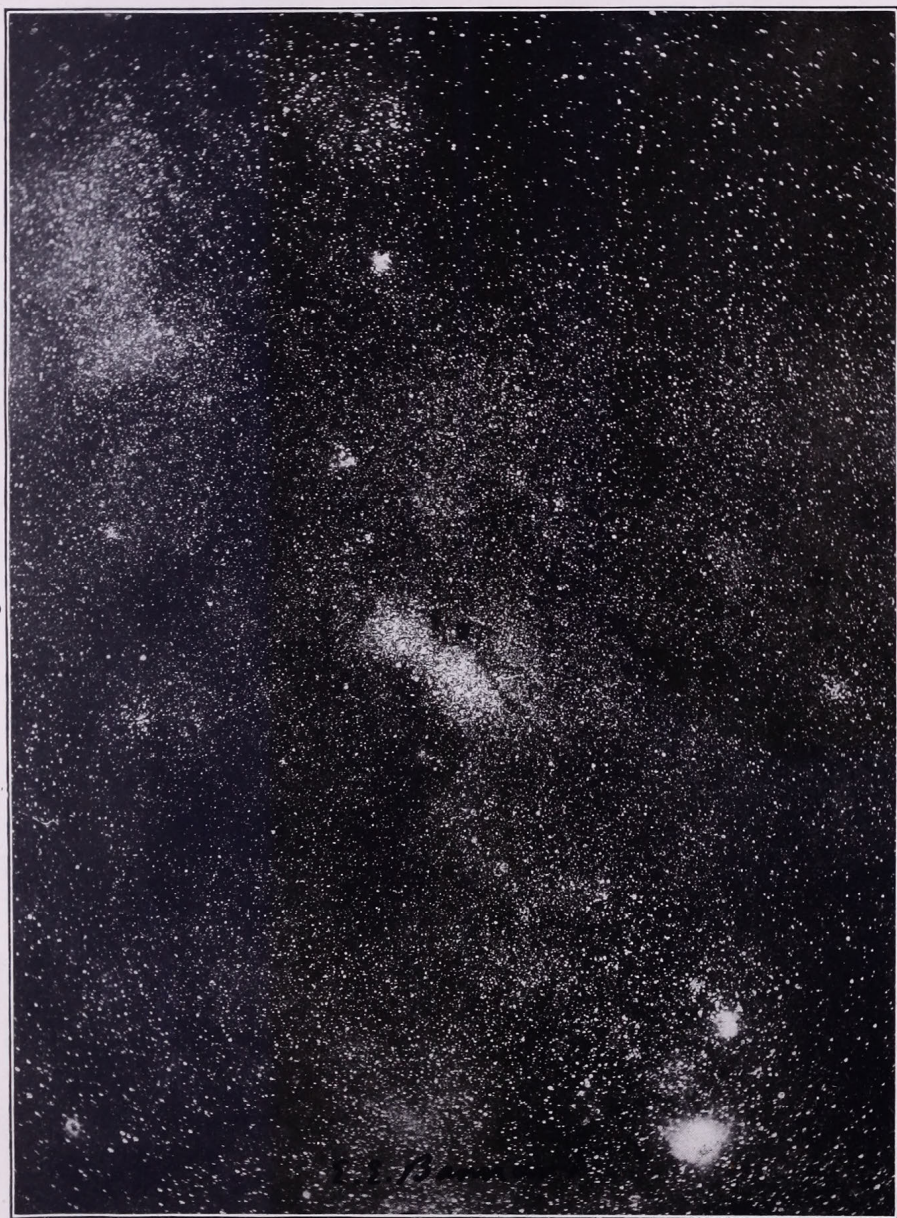
Lick obszerv. fotográfiája.

A Nova Persei körül elterülő köd.

1901. nov. 12, 13 és 1902. jan. 31, febr. 2.-án.



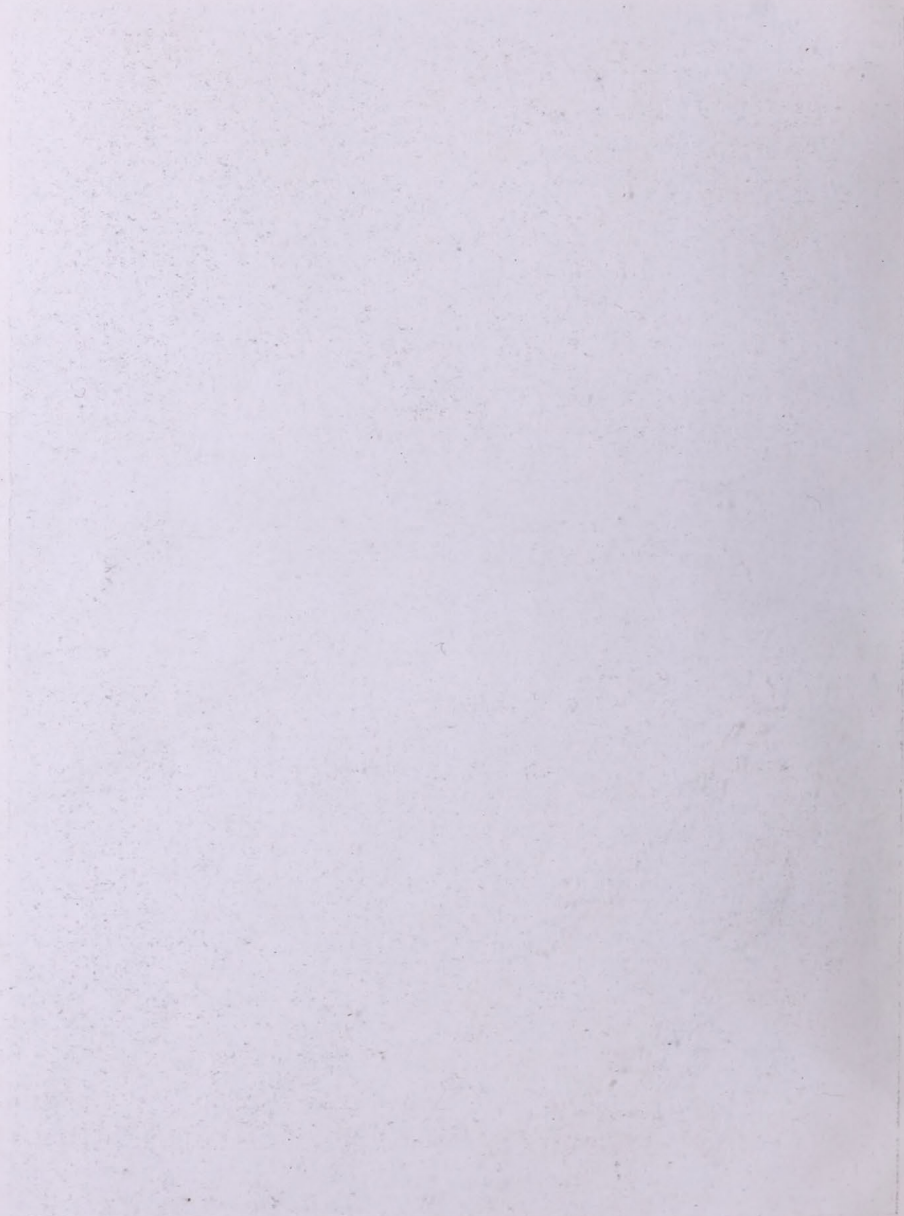




Tejút-részlet.

Barnard fotográfiája.





XIV. Képmelléklet.



Az Andromeda-köd.

Ritchey fotografiája.



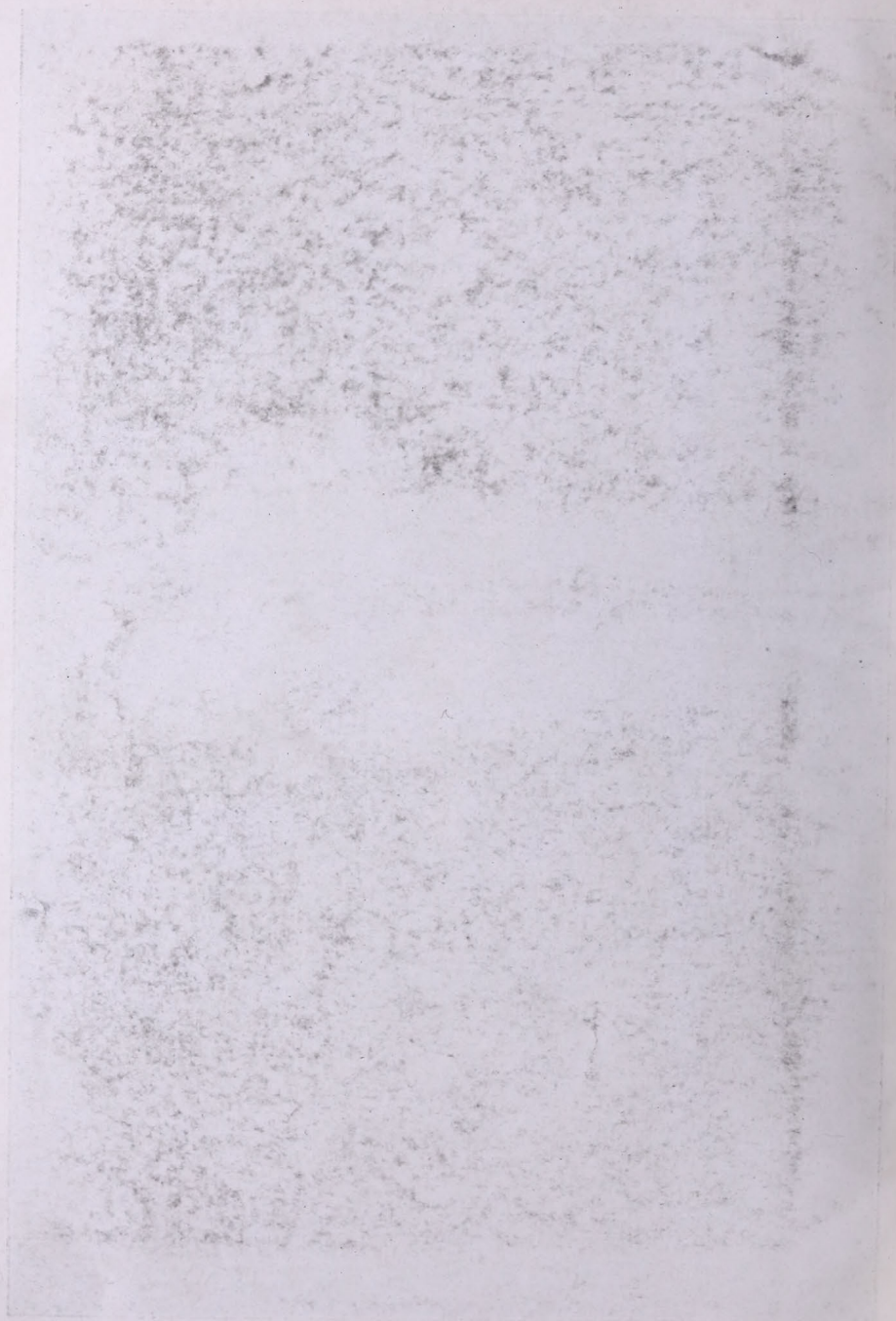




Spirális köd a Vadászegekben.

Ritchey fotográfiája.







Az  $\omega$  Centauri csillaghalmaz.

Gill fotografiája.



